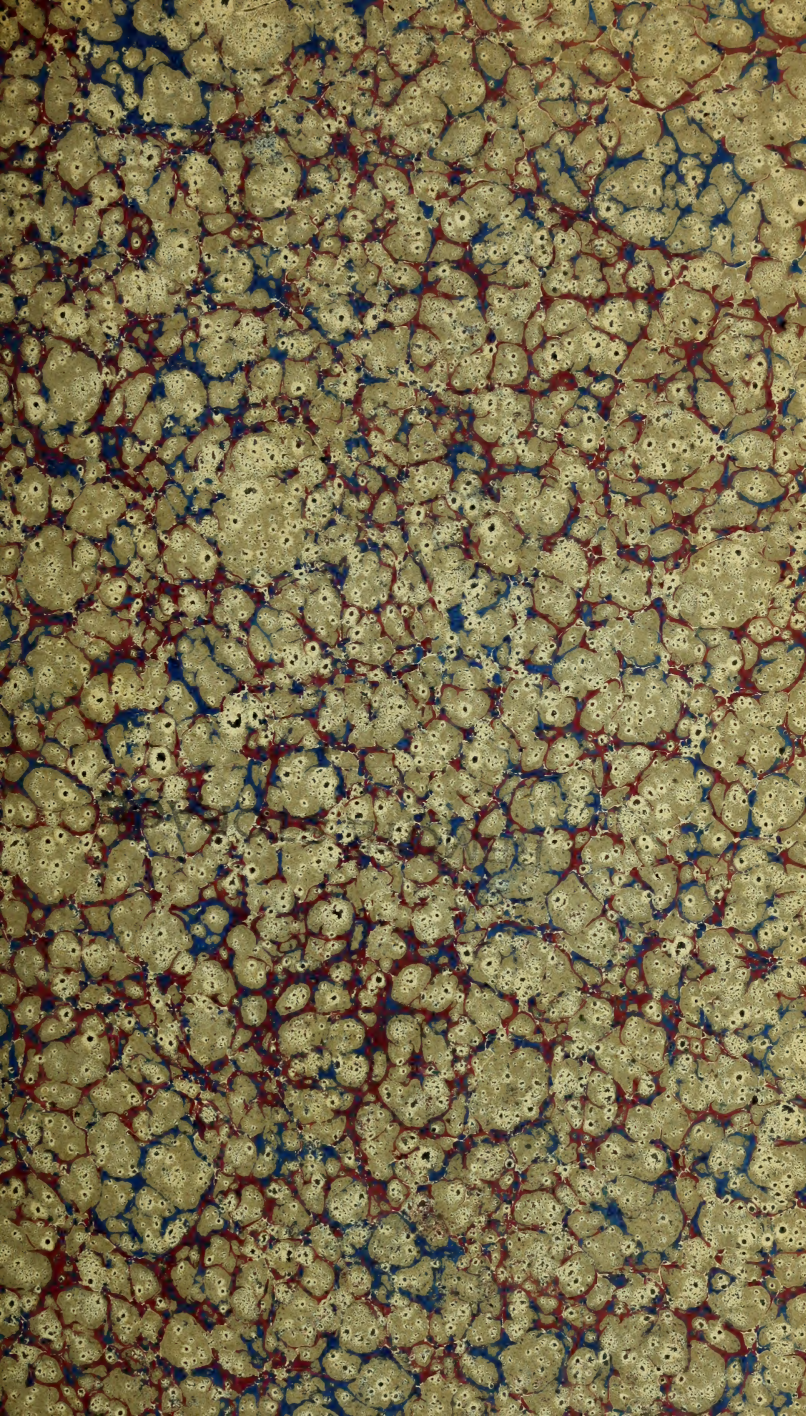


ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME XX.

1880

2me SEMESTRE.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR ARNOUS DE RIVIÈRE,
Rue Racine, 26, près de l'Odéon.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE

TOME XX.

1880

2me SEMESTRE.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRIE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 37

RESTAURATION DES FONDATIONS DU BATIMENT DES SUBSISTANCES DE LA MARINE A CHERBOURG

Par M. CLAVENAD, Ingénieur des ponts et chaussées.

CHAPITRE PREMIER.

La limnoria terebrans (*), auteur des dégâts observés dans les fondations du bâtiment des subsistances.

Avant d'entreprendre la description des travaux qu'ont nécessité les ravages de la *limnoria terebrans*, nous allons,

(*) Milne Edwards : crustacé, famille des Asselides, ordre des Myriapodes; observé pour la première fois par l'ingénieur anglais

non pas donner une monographie complète de cet animal, elle exigerait des études très longues au microscope, et probablement inutiles pour l'ingénieur, mais bien rappeler succinctement les quelques faits d'observation que nous avons pu relever sur ses mœurs et sur son mode de procéder à la destruction des bois. Il importe de connaître dans quelles circonstances on doit redouter ses attaques, et quelle peut être leur étendue, afin de s'en prémunir plus sûrement.

Description de l'animal. — Ce petit crustacé atteint au maximum 3 à 4 millimètres de longueur; nous le définirons en termes familiers en disant qu'il ressemble à la crevette par la partie antérieure de son corps, à la puce par la partie postérieure, et que sa tête est munie d'un appareil à deux lobes dentelés analogue à celui de beaucoup de térébrants, le scolyte par exemple qui fait de si grands ravages dans les ormes.

Les *fig.* 7 et 8, Pl. 18, représentent l'animal vu de dos et de ventre au microscope, après avoir été étalé sur une plaque de verre (*).

Sa tête porte, outre l'appareil dont nous avons parlé, deux véritables antennes en *a* et deux sortes d'appendices *b*, qu'il rapproche souvent pour saisir un objet quelconque, ou pour se suspendre à la manière des chauves-souris, en les piquant de concert dans le bois par exemple.

Son corps offre une série de pattes représentées en *ccc*;

Stevenson. Voir pour une description plus particulièrement anatomique :

Coldstream : *On the structure and habits of the Limnoria terebrans.* — *Edinburgh New Philosophical Journal.* Vol. 16, p. 316 Pl. 6, *fig.* 1-16, 1834.

Consulter. { Dicquemare : *Lichtenberg's Magaz.* Bd 2, St 2, 1783.
Hope : *Trans. Extom. Soc.* Vol. 1, Pl. 2, 1835.
Philippi : *Ann. of Nat. Hist.* Vol. 4, 1840.

(*) Nous donnons ce détail, car la disposition des pattes telle qu'on la trouve sur les dessins pourrait induire en erreur.

les deux pattes inférieures présentent cette particularité remarquable qu'elles sont terminées par deux ciseaux dont le rôle exact nous échappe encore.

Ses deux grandes pattes ou leviers qui agissent comme de véritables ressorts, lui permettent de se déplacer avec une vitesse considérable.

Le dos finit par une véritable queue cornée.

L'animal nage ordinairement sur le dos, son corps faisant cependant un certain angle avec l'horizontale, il porte à cet effet sur le ventre deux espèces de nageoires qui pendant le déplacement sont animées d'un mouvement vibratoire très rapide.

Près de l'attache des grandes pattes inférieures on voit deux sortes de nageoires-gouvernails qu'il manœuvre avec une dextérité remarquable, et grâce auxquelles il peut changer presque instantanément de direction. On songe involontairement en regardant ces petits organes aux navires à double hélice et à la facilité avec laquelle ils peuvent virer.

Mœurs de l'animal. — Il résulte des observations que nous avons pu faire que les *limnoria* n'ont besoin pour subsister que d'eau de mer et de bois.

Les eaux vaseuses ne les détruisent point contrairement à ce que l'on observe pour les tarets. En ce qui concerne les eaux saumâtres, nous avons encore trop peu de résultats pour pouvoir déterminer exactement leur influence.

Comme le taret (*teredo navalis*) la *limnoria terebrans* attaque les bois surtout pendant les mois chauds de l'année qui sont aussi ceux de la reproduction ; mais il faut noter un détail qui différencie complètement ces deux rongeurs.

Le taret s'attaque au bois pour ainsi dire dès sa naissance, pratique un trou proportionné à sa faible grosseur et se développe en agrandissant son alvéole, de sorte que cette dernière présente toujours la forme conique et que souvent des pièces de bois ne révèlent aucune trace apparente d'attaque et sont fortement entamées à l'intérieur.

La *limnoria* au contraire n'entre dans le bois que pour se créer un logement, un nid dans lequel elle puisse se reproduire.

En sorte que, les petits tarets sont près de la surface et les gros pénètrent dans le cœur du bois; tandis que l'on trouve toujours les jeunes *limnoria* au plus profond du bois.

A ce point de vue, le taret est plus dangereux, car le mal qu'il fait est moins apparent. Cependant, comme on le verra, la *limnoria* est un ennemi encore plus actif, se développant pour ainsi dire en progression géométrique, là même où le taret ne peut vivre, poursuivant toujours son attaque qui est continue et progressive.

Mode d'attaque. — Lorsqu'on examine une pièce attaquée, il semble tout d'abord que cette multitude de dentelures si irrégulières ont été pratiquées sans ordre et comme au hasard. L'examen attentif tant des pièces attaquées en mer, que de celle que nous conservons dans un bocal, nous a cependant révélé la loi générale, très simple d'ailleurs qui préside à la destruction.

Comme on le sait, la coupe de tous les dicotylédones met en évidence des couronnes concentriques qui ne sont autres que les diverses couches d'accroissement annuel. Elles sont séparées par une sorte de pellicule ligneuse plus dure que le bois lui-même, et qui dans le sapin par exemple est injectée de résine.

Les *limnoria* commencent par pénétrer entre deux de ces pellicules, détruisent le bois plus tendre qu'elles renferment, tout en laissant de distance en distance de véritables piliers qui servent de dernière liaison entre ces deux couches et empêchent la désagrégation immédiate des cellules. Mais là n'est point le fait le plus curieux.

Prenons donc l'un de ces animaux, alors qu'il vient de s'introduire ainsi dans le bois; il va creuser son conduit en s'arcboutant sur ses pattes de derrière et s'appuyant au

besoin par sa queue cornée contre les parois de ce dernier (*).

Le bruit que font ces insectes pendant le travail est très perceptible et il nous a été donné de l'entendre très distinctement dans une pièce de bois qui venait d'être retirée de la mer. Au moment de la reproduction, le conduit est élargi et devient une sorte de petite grotte qui est la résidence de toute la famille, au moins tant qu'elle s'y tient, car les murs de la vie privée n'existent pas chez ce petit peuple, toutes les cellules étant plus ou moins en communication. Puis les jeunes étant devenus plus forts, la maison devient trop étroite; c'est alors que l'on voit partir de cette chambre commune des conduits plus petits qui vont chercher le bois sain en perçant une pellicule et pénétrant dans une seconde couche d'accroissement annuel. Il arrive parfois que la présence dans celle-ci d'autres animaux qui ont pris les devants, les forcera à aller chercher leur vie dans la troisième couche, de sorte que l'on ne peut dire que les couches d'accroissement annuel représentent le travail d'une génération, qui peut parfois s'étendre sur plusieurs, notamment pour le sapin.

Les jeunes dont nous avons parlé vieillissent et se multiplient à leur tour en donnant naissance à une nouvelle génération qui continue le même travail et pénètre encore plus profondément.

Pendant ce temps les ancêtres sont morts, les premières couches attaquées pourrissent et sont délayées par l'eau; mais le travail continue à l'intérieur, pendant que le bois, effeuillé couche par couche, diminue continuellement d'épaisseur et finit même par disparaître complètement.

Circonstances dans lesquelles se produit l'attaque des bois;

(*) Il nous a été impossible de voir si ce travail souterrain est plutôt dans les attributions d'un sexe que de l'autre, car les mâles et les femelles nous ont toujours paru travailler de concert.

rayon d'action des limnoria. — On sait qu'il faut au taret, pour vivre et se développer, de l'eau claire, aérée, et que la vase protège les bois de son attaque. Il ne vit pas au-dessous du niveau moyen des basses mers de vive eau (*).

Comme le taret, la *limnoria* ne vit pas au-dessous du niveau moyen des basses mers de vive eau; mais le plus ou moins de pureté des eaux la contrarie fort peu.

Le taret et la *limnoria* s'attachent, du reste, également aux corps flottants. Il y a des tarets sur les coques de certains navires. Il y a, par exemple, des *limnoria* sur toutes les bouées de la rade de Cherbourg.

Fait extrêmement remarquable : la *limnoria* peut aller chercher les bois à travers des remblais compacts de plus de 25 mètres d'épaisseur.

Le taret, quoique fort à redouter en raison de son attaque sourde et invisible, ne possède pas une vitalité pareille.

Dans de semblables circonstances, d'ailleurs, là où il existe des remblais et, par conséquent, presque toujours un peu de vase ou de terre, le taret trouve un ennemi dans le *Lycoris fucata*, sorte d'annélide très recherchée des petits pêcheurs sous le nom de *pelure.*

Or ces animaux pullulaient dans les fondations des subsistances, ce qui explique l'absence presque totale des tarets. Il se pourrait bien, d'ailleurs, que l'immunité dont jouissent contre l'attaque des tarets les bois immergés dans les eaux vaseuses tînt un peu à quelque cause de ce genre.

L'attaque de la *limnoria*, pour les constructions immergées, paraît cesser à la cote du niveau moyen des hautes mers de morte eau; c'est donc entre cette dernière et celle de $0^m,50$ que l'on devra redouter la destruction des bois. L'intensité de l'attaque augmente, d'ailleurs, progressivement depuis la cote de $+ 0^m,50$ jusqu'à la cote de 2 mètres

(*) Voir les *Annales des ponts et chaussées*, 1868. Mai et juin.

environ, pour décroître ensuite jusqu'à celle du niveau moyen des hautes mers de morte eau.

La *fig.* 6, Pl. 18, fait nettement ressortir ce fait : à l'origine, la pièce qui y est représentée était d'une section uniforme sur toute sa hauteur; aujourd'hui elle est terminée par une pyramide.

Nous ne pouvons nous empêcher de remarquer en passant cette loi de la classification de certains êtres vivant dans la mer par zones d'altitude différente. Elle se révèle distinctement dans les mers à marée. Chacun sait, en effet, que tel coquillage ne se pêche qu'à la faveur des vives eaux extraordinaires; que d'autres se trouvent encore plus bas.

Facilité plus ou moins grande avec laquelle les bois sont attaqués; préservation. — Nous avons vu des pièces de sapin fortement piquées moins de deux mois après leur immersion. Il résulte, d'ailleurs, de l'ensemble des observations faites jusqu'à ce jour que la *limnoria* attaque tous les bois de construction avec d'autant plus d'intensité qu'ils sont plus tendres, ce qui est assez évident.

Il y aurait probablement une exception à faire pour certaines variétés d'*Eucalyptus*, notamment l'*Eucalyptus rostrata* (*), qui, paraît-il, ne subit pas les attaques des tarets et peut-être des *limnoria;* mais les expériences manquent à cet égard.

La question des moyens de préservation rentre dans celle déjà traitée à propos du taret, car là où se trouve ce dernier peut se rencontrer la *limnoria.* Il paraît, du reste, ressortir de l'expérience, que le créosotage est aussi efficace dans un cas que dans l'autre. Néanmoins, comme nous l'avons vu, il est des circonstances pour lesquelles, sans avoir à redouter les attaques des tarets, on doit se prémunir contre celles des *limnorias*. Et il ne semble pas impos-

(*) M. Eugène Martin, ingénieur des ponts et chaussées : *L'Eucalyptus et ses applications industrielles.*

sible, *à priori*, que les moyens de préservation ne pussent être moins coûteux que ceux employés jusqu'à ce jour, tels que mailletage, injection avec diverses substances corrosives, et enfin le meilleur, le créosotage.

Mais cette question est à réserver pour le moment.

Résumé. — Nous allons résumer les faits saillants que nous avons cherché à faire ressortir dans le rapide exposé qui précède.

1° La *limnoria terebrans* attaque tous les bois flottants; pour les bois immergés, son rayon d'action est à peu près limité inférieurement à la cote des basses mers moyennes de vive eau, et supérieurement au niveau des hautes mers moyennes de morte eau. On peut dire, en langage mathématique, que la puissance destructive passe par un maximum entre ces deux limites.

2° Elle peut se rencontrer partout où vit le taret; les eaux vaseuses même nuisent peu à son développement, les eaux claires et courantes le favorisent.

3° Elle attaque les bois jusque dans les remblais plus ou moins noyés, et d'autant plus facilement, que les bois n'ayant jamais une grande adhérence avec les terres ou même les maçonneries, leur surface est balayée par des sources d'abord faibles, mais qui sous l'action de la pression des eaux et du jeu des marées, finissent par acquérir une importance qui ne fait qu'augmenter avec le temps, par suite de la destruction progressive des bois.

4° Elle poursuit la destruction des bois d'une manière continue, les premières couches attaquées étant entraînées par l'eau, et les jeunes animaux pénétrant toujours plus profondément dans le ligneux. Elle se fixe de préférence sur les bois les plus tendres, elle peut détruire en quelques années des pièces de 0,20 d'équarrissage.

Dégâts observés dans les fondations du bâtiment des subsistances. — Après avoir décrit sommairement l'ouvrier, examinons son ouvrage.

Sous la majeure partie de l'édifice des subsistances le rocher ne se rencontre qu'à (5, 6, 7, 8, 9 mètres au-dessous du zéro), et le sol est assez peu résistant (tourbe, sable vaseux), pour que l'on ait été obligé de fonder le bâtiment sur pilotis descendant jusqu'au rocher.

Ces derniers qui sont en hêtre (*) supportent des traverses du même bois, sur lesquelles est posé un double plancher de sapin.

Les deux planchers ont une épaisseur de 0,20, les traverses et les pieux 0,30 d'équarrissage.

C'est sur ces planchers qu'ont été montées les maçonneries de la fondation proprement dite, composées à l'intérieur de piliers ou de lignes continues d'appui, ainsi que celles de la façade sud et du mur de quai nord.

Les pieux, sous le mur de quai, sont arasés à la cote + 0,50; d'après l'une des règles qui précèdent, on devait les trouver intacts, c'est ce qui a été observé en effet.

Des sources s'étaient établies à travers le béton qui les entoure, notamment le long des traverses et des planchers. Ces sources avaient permis aux *limnoria* de s'introduire dans le massif remblayé des fondations, de se fixer dans les bois, et de les détruire peu à peu.

L'action avait été si étendue que sur 60 mètres environ de longueur (le quart environ du bâtiment), il n'y avait pour ainsi dire plus trace de planchers, que les traverses étaient fortement entamées et que l'ensemble de la construction était descendu de $0^{m},32$ dans la partie Est.

Dans l'intérieur du bâtiment, les pieux avaient été récépés plus haut que sur le mur du quai, à la cote 2 mètres, $2^{m},50$, etc., ils étaient donc fortement attaqués, même dans le remblai, ainsi que les traverses et les planchers.

Dans certains endroits, la tête des pieux avait disparu

(*) Détail remarquable, la plupart des bois de hêtre extraits des fondations ne flottent plus sur l'eau, leur densité est supérieure à la sienne ou égale.

sur 50, 60 centimètres de hauteur, les traverses étaient réduites à une épaisseur infime, et des planchers, il ne restait que quelques fragments.

D'autres fois, les pieux étaient entaillés sur quelques décimètres de hauteur, et réduits pour ainsi dire à leur axe; sous peu, ils eussent été totalement coupés.

De là des mouvements, des affaissements successifs et continus signalés par la rupture constante d'attaches en ciment, que l'on fixait sur les fenêtres.

Comme nous l'avons vu, l'ensemble de la construction descendait sur ses fondations, la façade nord prenait un surplomb de $0^{m},15$, des clefs de voûtes s'affaissaient de 2, 3, 8 centimètres. On pouvait en outre observer d'immenses crevasses sur plusieurs murs de refend.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Travaux de restauration des fondations.

La question primordiale était celle de l'épuisement du chantier, dont la réalisation devait permettre de travailler à sec, et par conséquent d'appliquer plus facilement un remède plus sûr et plus économique, qu'on n'aurait pu le faire sous l'eau et à la marée. (Elle a été traitée dans les *Annales* de février 1879, le présent mémoire donne en outre quelques détails sur l'installation et le fonctionnement des appareils d'épuisement.)

Toutefois la reprise en sous-œuvre d'un pareil bâtiment reposant sur des fondations détruites en partie, et qui supportent des pressions considérables, offrait de réelles difficultés. Il fallait en effet réaliser des conditions souvent incompatibles, la rapidité d'exécution avec la sécurité, pour

des opérations parfois dangereuses, toujours délicates; l'économie avec la durée d'ouvrages qui subissent toujours plus ou moins les attaques du temps.

Programme des travaux.—Il fallait mettre définitivement les fondations à l'abri des attaques des rongeurs et des détériorations dues à l'action de l'eau de mer.

Les pieux n'étant pas attaqués au-dessous du niveau des basses mers de vive eau, il suffisait de les couper au-dessous de cette cote, et de supprimer totalement le bois dans l'intervalle compris entre leur tête et la partie inférieure des maçonneries anciennes qui devaient par conséquent être reprises en sous-œuvre.

Toutefois, il fallait prendre une précaution des plus importantes, en pratiquant dans le mur de quai des ouvertures suffisantes pour permettre la libre introduction dans les fondations, et la sortie facile des eaux de la mer. Fermer le quai ou l'ouvrir incomplètement, c'était s'exposer à voir se créer sous l'action de la pression des eaux de l'extérieur à l'intérieur des sources qui circulant entre les bois et les maçonneries eussent pu introduire dans les premiers les redoutables ennemis dont il a été question.

Les traverses et les planchers devaient être complètement supprimés; la maçonnerie reposant directement sur les pieux.

Les pieux supportent dans les fonctions du bâtiment des subsistances des pressions de 28 kilog. par centimètre carré. Le résultat obtenu montre que ce mode de procéder pourrait être appliqué même pour les grandes pressions.

Les pilotis devaient d'abord être enchassés dans la maçonnerie sur une hauteur de 0,60.

Comme le montrent les dessins de la Pl. 18 (*fig.* 1, 2, 3, 4, 5), le rez-de-chaussée de la partie Ouest du bâtiment repose sur des voûtes supportées par des lignes continues d'appui; dans la partie Est au contraire la fondation consiste en piliers de maçonnerie enterrés dans le

remblai, ce remblai devait être enlevé et le pavage du rez-de-chaussée supporté par un double système de voûtes analogue à celui que l'on trouve dans la partie Ouest.

Exécution des travaux. — Le chantier étant continuellement maintenu à sec, on put continuer les déblais à l'intérieur du bâtiment et le long du mur du quai jusqu'à venir déchausser les pieux et mettre à découvert les traverses et les planchers à modifier.

La reprise en sous-œuvre avait d'abord été prévue comme il suit : une certaine hauteur de maçonnerie avec mortier de ciment au-dessous de l'ancienne et reposant sur une plate-forme de béton de ciment qui devait entourer la tête des pieux.

Cette plate-forme devait être coulée dans des fouilles dont les parois eussent été revêtues d'une maçonnerie de dalles schisteuses.

Dans le but d'activer les travaux, on substitua la maçonnerie au béton depuis le fond de la fouille jusqu'au plan de recépage des pieux, la reprise fut achevée depuis ce dernier jusqu'aux anciennes maçonneries à l'aide de blocs artificiels.

On comprend l'avantage que procurait l'emploi de blocs fabriqués d'avance à l'air libre, sans gêne aucune, qui n'étaient employés en sous-œuvre, qu'après avoir subi une certaine prise ; qui, par conséquent, étaient incompressibles, et permettaient de diminuer la somme des joints frais, toujours à redouter dans un travail de ce genre.

Ces blocs étant posés à plein mortier opéraient d'eux-mêmes une certaine compression favorable à la cohésion et à l'homogénéité de la maçonnerie.

Ils étaient fabriqués dans des moules spéciaux et composés de maçonnerie de moellons de dimensions restreintes et uniformes. Certains d'entre eux avaient jusqu'à $1^{m},50$ et plus de longueur. La prise était assez complète quelque temps qu'il fît, pour qu'au bout de 5 à 6 jours, il fût

possible de les transporter ; néanmoins on ne le faisait qu'au bout de 8 jours.

Reprise du mur de quai. — Comme nous l'avons dit, les pieux sous le mur de quai étaient intacts, et pouvaient par conséquent servir de points d'appui ; néanmoins, comme il pouvait être difficile de placer des cales suffisantes entre ces derniers et les maçonneries, et que d'ailleurs il pouvait être nécessaire d'opérer un serrage énergique, nous avons fait construire de puissants vérins manœuvrables à bras d'hommes, qui nous ont été de la plus grande utilité dans les parties les plus mauvaises, et ont permis de procéder prudemment au recépage des pieux.

La confiance étant venue par la suite, appuyée sur une expérience sérieuse, on a pu, dans la plupart des cas, se dispenser des vérins, dont la manœuvre est assez longue, et se contenter de cales que l'on coinçait au-dessus des pieux.

Ce mode de procéder présentait l'inconvénient de donner lieu à des tassements que les vérins eussent permis d'éviter ; mais, comme on dégarnissait continuellement les fondations délabrées et que ces tassements *s'opéraient sur de grandes longueurs*, ils ne pouvaient donner lieu et ne donnaient naissance à aucune gerçure ni fissure de nature à inspirer des craintes.

D'ailleurs, toutes les précautions étaient prises pour que le moindre mouvement fût signalé : tassements dans les maçonneries nouvelles ou sur les pieux, tassements sur les planchers et traverses détruits en partie, fentes, etc. Nous avions fait installer à cet effet un appareil pouvant traduire un allongement ou une contraction de $\frac{1}{20}$ de millimètre au besoin, et qui est décrit plus loin.

Les quelques expériences qui furent faites avec ce petit instrument nous révélèrent, en même temps que les tassements sur planchers et traverses, la *parfaite* tenue des maçonneries nouvelles, qui à peine exécutées arrêtaient tout mouvement, ainsi que leur incompressibilité absolue.

Comme on peut le voir sur les figures, après avoir enlevé le béton sur une certaine longueur, on coupait une ligne de pieux dans les parties à redouter, deux dans les meilleures, après avoir calé les suivants. Puis on commençait le travail dans ce petit chantier en forme de parallélogramme compris entre les maçonneries déjà faites et la première ligne de pieux non coupée. De la sorte, il est facile de se rendre compte que pour le même porte-à-faux, on avait la faculté d'exécuter un cube de maçonnerie plus considérable que si l'on avait procédé par tranches perpendiculaires à la face du mur de quai.

Par la suite, on mit les pieux à nu sur une très grande longueur, et, pour activer le travail tout en augmentant encore la sécurité, on procéda à la reprise par chantiers séparés, que l'on abandonnait pendant quelques jours pour laisser à la maçonnerie le temps d'une bonne prise.

Prenons comme exemple l'un de ces petits chantiers, l'une de ces travées. Les pieux étant coupés sur deux rangées, par exemple, et les fouilles descendues à profondeur, on recouvrait le fond de cette dernière de dalles provenant de démolitions ou de moellons aussi plats que possible que l'on serrait les uns contre les autres.

Ces matériaux, tout en constituant une base sur laquelle on pouvait maçonner à plein mortier, laissaient entre eux des vides qui assuraient un écoulement aux petites sources bouillantes qui se produisaient dans les parties sableuses, et les empêchaient de pénétrer les maçonneries et de les délaver.

Puis, après avoir nettoyé à vif la surface des pieux recépés, on maçonnait dans les intervalles jusqu'à un plan passant un peu au-dessus de celui du recépage des pieux, afin que, lors de leur pose, les blocs artificiels pussent porter à la fois sur les pieux et la maçonnerie, ce qui permettait d'utiliser non seulement la résistance des pieux, mais encore celle du sol, qui n'est pas à négliger, particulière-

ment dans la partie Est, où il est formé à la partie supérieure de sable (*).

On laissait alors prendre corps à la maçonnerie pendant quelques jours, puis on commençait l'approche des blocs, qui étaient posés à plein mortier, autant que possible sur la tête des pieux, après avoir été préalablement piqués pour augmenter leur adhérence mutuelle.

Ces blocs présentaient des découpes horizontalement et verticalement. Les assises de blocs étaient amenées jusqu'à $0^m,20$ environ de la face inférieure des anciennes maçonneries; puis, après avoir gratté et parfaitement nettoyé ces dernières, on coinçait à plein mortier, et avec des maillets en bois, des moellons entre elles et les nouvelles maçonneries.

C'est ainsi que de proche en proche, et en quelques mois, le mur de quai fut repris sur toute sa longueur, 292 mètres.

La reprise de la façade Sud et des pignons Ouest et Est s'opéra de la même manière; sous ce dernier, il fallut recourir aux vérins.

Reprise des piliers. — Le mode d'exécution des maçonneries était, comme on peut le prévoir, le même que sous le mur de quai, avec cette différence que dans certaines parties l'approche des blocs devint assez difficile pour qu'on eût recours à la confection sur place des maçonneries. Il en résultait qu'avant de coincer la couche terminale entre les anciennes et les nouvelles maçonneries, il fallait attendre que ces dernières fussent assez résistantes pour ne pas être disjointes par les coups de maillet.

Mais il fallait ici supporter chaque pilier isolément et, par conséquent, redoubler de précautions. Dans les parties où le rocher assez élevé était mis à nu par les fouilles,

---

(*) Il est tourbeux sur plus de la moitié de la longueur du bâtiment.

les pieux n'étant maintenus latéralement par rien et ne portant que sur leurs pointes (arrondies, il est vrai, par le battage), il fallait employer les vérins.

Avant de commencer la reprise en sous-œuvre, on avait exécuté le remplissage en maçonnerie prévu de deux en deux piliers, qui sert d'appui aux voûtes inférieures. A cet effet, les surfaces des anciennes maçonneries avaient été déjointoyées avec soin, quelques moellons même avaient été enlevés, afin d'assurer la parfaite cohésion des ouvrages et de leur donner du crochet.

On pouvait donc considérer, après quelques mois, l'ensemble des deux piliers et du remplissage comme un monolithe.

Après ce laps de temps, les pieux furent dégarnis, coincés, quelques-uns remplacés par des vérins, et la reprise se pratiqua de la manière suivante :

On coupait le pieu central d'une pile, et, après avoir exécuté la maçonnerie inférieure (voir les dessins), on la continuait entre les quatre pieux des extrémités par une colonne construite comme il a été dit.

La même opération était pratiquée sur le pilier voisin.

On abandonnait le tout pendant cinq à six jours (théoriquement, vingt-quatre heures à trois jours eussent suffi); puis, la maçonnerie étant suffisamment prise, on coupait tous les pieux et on achevait la reprise sans aucune espèce d'étais.

Grâce à ces diverses précautions et à une surveillance de tous les instants, nous n'avons eu aucun accident à enregistrer; les travaux sont achevés à l'heure qu'il est. Les tassements ont complètement cessé.

CHAPITRE TROISIÈME.

Note sur les appareils d'épuisement.

La présente note contient la description de certains travaux et donne les résultats d'expériences faites sur les appareils d'épuisement. Nous avons cherché à en dégager quelques faits pratiques, et à faire ressortir par des chiffres l'idée d'économie qui nous a constamment guidée. Nous les donnerons tels quels, sans aucun commentaire ou comparaison.

Si cet exposé peut fournir quelques renseignements qui puissent être utiles à nos camarades, notre but sera complètement atteint.

PREMIÈRE PARTIE.

DISPOSITIONS ADOPTÉES. — MACHINES. — TURBINES.

Choix de l'emplacement des appareils. — Il paraissait plus naturel au premier abord d'installer les machines sur les quais et de conduire les eaux qu'elles eussent aspiré, à la mer, par un conduit spécial.

Mais comme il eût fallu en tout temps élever les eaux à une hauteur constante d'au moins 9 mètres pour aller les déverser à la mer, dont le niveau varie notablement, il y avait un grand intérêt à régler à sa demande le travail des appareils.

Aussi nous sommes-nous arrêté à la combinaison qui consiste à établir les machines dans le bassin même, et à refouler les eaux à l'extérieur par un des cinq conduits qui ont été pratiqués dans le barrage, et qui se trouvent

placés à très peu près au niveau des basses mers moyennes. Les machines n'élèvent ainsi l'eau ou plutôt ne la refoulent qu'à la hauteur strictement nécessaire, leur travail est toujours utile, et l'économie de charbon réalisée de ce fait est considérable. Nous verrons plus tard les autres avantages qui résultent de l'adoption de cette disposition.

Si cependant le niveau de l'eau dans le bassin à épuiser eût été par trop élevé, l'économie de charbon eût été absorbée et au delà par les dépenses de fondation. Or les conduits dont nous avons parlé sont fermés par des clapets automobiles s'ouvrant à mer basse sous la pression des eaux intérieures et se fermant quand le niveau à l'extérieur devient plus élevé que dans le chantier.

Entre la fermeture et l'ouverture des clapets, ce dernier se remplissait d'eaux d'infiltration, puis la mer baissant, les clapets s'ouvraient et la laissaient s'écouler en partie.

Le niveau intérieur dépassant alors rarement la cote 3 mètres, et le fond solide étant à très peu près au zéro, le batardeau à l'abri duquel il fallait établir la plate-forme des machines et creuser le puisard ne devait présenter qu'une hauteur de 3 mètres à $3^{m},50$ environ, et comme on le verra, il a pu être établi assez économiquement.

Machines. — L'étude des machines et des turbines et leur construction ont été faites par la société nouvelle des Forges et chantiers du Havre.

Les machines sont de fortes locomobiles Compound, pouvant développer chacune jusqu'à 100 chevaux.

Donnons seulement quelques détails sur leurs dispositions principales.

La détente peut être réglée à partir de 30 p. 100 d'introduction dans le petit cylindre, cette condition était indispensable, car la force que peut développer la machine doit être essentiellement variable.

Cette dernière est en effet sensiblement proportionnelle au produit du volume d'eau évacué, par la hauteur du

niveau de la mer au-dessus de celui des eaux dans le puisard (*). Or ces deux quantités augmentent et diminuent en même temps.

La quantité d'eau douce que nous eussions pu utiliser pour la condensation, qui exige par machine environ 15 litres par seconde, étant absolument insuffisante, nous avons dû recourir à l'eau de mer. Cette dernière est aspirée dans le puisard même par une pompe spéciale placée sur le côté des machines.

Les tuyaux d'aspiration sont terminés par des crépines placées un peu au-dessus du fond du puisard, afin d'éviter que le sable et le limon qui s'y accumulent toujours ne soient attirés jusque dans le condenseur.

L'expérience a fait reconnaître la nécessité de les munir à leur partie inférieure de clapets automobiles, sans lesquels il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, d'amorcer la pompe dès que la hauteur d'aspiration devient notable (6 mètres).

On conçoit en effet que pour des hauteurs semblables, les tuyaux étant forcément très longs, toutes les causes qui s'opposent à l'ascension de l'eau, frottements, pertes de charge, rentrées d'air inévitables, etc., puissent devenir prépondérantes au point de l'empêcher totalement. Ces causes ont d'autant plus d'action que le tuyau est plus long, et par suite que le volume d'air dans lequel la pompe doit opérer préalablement le vide est plus considérable par rapport à celui de son corps de pompe. Chaque coup de piston ne diminue alors la pression dans les tuyaux que de fort peu de chose, l'amorçage devient ainsi très long, parfois même impossible.

Le clapet de retenue dont nous parlons remédie à ces

(*) Nous dirons seulement *sensiblement proportionnelle*, car, comme nous le verrons plus loin, le rendement des turbines varie avec le niveau de la mer.

inconvénients, il arrête la descente de l'eau dans les moments de défaillance de la pompe.

S'il est indispensable pour l'amorçage, il l'est encore pour la marche, et on le comprend tout aussi facilement.

Le corps de la pompe d'aspiration étant d'une section assez faible, il eût fallu, comme le montre un calcul fort simple, un temps notable pour amorcer en marche; or pendant ce temps le condenseur se fût échauffé; on a donc dû recourir à un remplissage préalable des tuyaux.

Il s'effectue à l'aide d'un tuyautage spécial que nous avons fait installer après coup.

Au sortir de la pompe de circulation, l'eau aspirée est amenée dans le condenseur, et de là dans un conduit collecteur pour les trois machines d'où elle est refoulée à la mer avec les eaux d'épuisement.

Le condenseur est à surface, l'eau circule dans de petits tubes en cuivre, assemblées dans deux plaques percées de trous à leur demande.

Théoriquement, la machine marche toujours avec le même stock d'eau douce. Pratiquement, il est nécessaire de parer de temps en temps aux pertes par une addition faite dans le condenseur au moyen de l'eau venant de caisses spéciales.

Les machines sont de 100 chevaux (allure de 150 tours).

Turbines. — Chacune des trois machines est munie de deux volants symétriques servant en même temps l'un et l'autre à transmettre le mouvement aux turbines à l'aide de fortes courroies.

Chaque turbine aspire l'eau par un tuyau muni à la partie inférieure d'un clapet en forme de double cône, reposant sur un siège en bronze, et ne pesant que 20 kilog. dans l'eau, et la refoule dans une bâche unique pour les ois appareils, et de là à la mer.

L'orifice de débouché de chaque tuyau dans la bâche,

porte un clapet se fermant sons la pression extérieure, et s'ouvrant quand la turbine fonctionne.

La compagnie des forges et chantiers avait fait installer sur le tuyau collecteur de la circulation une manche pouvant servir au réamorçage de la turbine *en marche.*

L'expérience nous a montré qu'il était à peu près impossible de réamorcer *en marche*, car dans ces conditions le clapet se soulève à chaque instant, l'eau du tuyau est mise en communication avec celle du puisard, et le faible volume qu'on envoie disparaît dans la masse. Il faudrait pouvoir projeter dans la turbine des quantités d'eau notables.

Aussi dans ce cas, faisons-nous arrêter et remplir.

Malgré ces précautions, au moment des basses-mers de petite et de grande vive-eau, l'orifice du tuyau de refoulement étant dégagé en tout ou en partie, le réamorçage était tout aussi incommode.

Nous avons paré à cet inconvénient en faisant placer en avant du débouché sur la face nord du barrage, une plaque de tôle *gg* assez élevée pour maintenir le tuyau de refoulement constamment plein ou à peu près. A basse-mer elle fait donc l'office de déversoir, le surcroît de force occasionné par cette faible élévation de quelques décimètres est d'ailleurs négligeable.

Moyennant cette précaution tous les inconvénients signalés plus haut ont été évités.

Il est arrivé parfois que l'existence d'une colonne d'air dans le tuyau d'aspiration arrêtait totalement l'ascension de l'eau, nous nous en débarrassions soit en stoppant et rechargeant la turbine, soit en forçant un peu l'allure de la machine. Ce fait se présentait du reste rarement. On pourrait, croyons-nous, éviter totalement des manœuvres encore assez longues, en perçant à diverses hauteurs sur le tuyau d'aspiration des orifices munis de robinets qu'il serait facile d'ouvrir, afin de laisser un libre débouché à l'air emprisonné.

Les turbines ne se sont du reste jamais engorgées quoique par suite du creusement ou du curage des rigoles d'épuisement, les eaux fussent chargées de sable et de limon au point qu'en en remplissant un verre, il se formait au fond de ce dernier un dépôt de près d'un centimètre de hauteur.

Elles laissent même passer des corps relativement volumineux, ce qui dans certains cas peut être une qualité précieuse.

Donnons enfin quelques chiffres :

Diamètre du disque de chaque turbine . . .	$0^{m},95$
Nombre de tours.	300
Débit correspondant pour une différence de niveau maximum égale à $9^{m},00$.	400 litres par seconde.

Ensemble de l'installation. — Vanne. — Un batardeau en maçonnerie construit à l'abri d'un batardeau en argile enferme toute l'installation ; sa crête est assez élevée pour que l'ensemble soit complètement à l'abri des eaux dans le cas d'une longue interruption de l'épuisement.

Sa construction était d'ailleurs indispensable pour le même motif, pendant la pose des appareils.

Le niveau de l'eau dans le bassin atteignant 3 mètres et le fond du conduit d'amenée des eaux étant à la cote 3,20, il eût été incommode et dangereux, lors de l'épuisement général du chantier d'introduire librement les eaux dans le puisard, sous une pression allant jusqu'à plus de 6 mèt. d'eau, aussi avons-nous fait couvrir ce dernier d'un plancher étanche formé de madriers de sapin du nord de $0^{m},30 \times 0,30$, scellés d'un côté dans les maçonneries qui supportent les machines, de l'autre dans celles qui bordent la crête du puisard, sur lesquelles une partie du poids de la toiture vient se reporter. Par surcroît de précaution et afin de permettre au plancher de résister à une sous-pression de 3 mètres, certaines de ces poutres ont été reliées au mur de revêtement du puisard par des brides.

Ce plancher est recouvert inférieurement d'un bordage calfaté.

Sa construction était encore motivée par les exigences du service des turbines, nécessitant l'approche facile de ces appareils.

Un trou d'homme avec plaque étanche permet la visite du puisard, et a rendu possible la pose des tuyaux d'aspiration.

Ce plancher étanche porte en outre un orifice muni d'un tuyau pour l'évacuation de l'air.

Nous avons dû établir une vanne à l'extrémité du conduit d'amenée des eaux.

Elle devait remplir les conditions suivantes :

1° Empêcher l'introduction des eaux dans l'installation pendant la pose des appareils ; les turbines eussent été en effet noyées, le niveau dans le chantier atteignant la cote + 3 mètres, et les turbines étant posées sur un plancher établi au zéro ;

2° Rendre l'introduction des eaux possible par une manœuvre facile ;

3° Être très étanche afin de permettre de réduire les épuisements à effectuer avant la mise en train des appareils ;

4° Se prêter aux expériences de débit qui devaient être faites individuellement sur chacune des machines. Et naturellement être aussi simple et économique que possible.

Elle se compose d'une plaque de tôle pouvant résister à des pressions d'eau de 6 mètres, mobile autour du diamètre de la demi-ellipse qui termine extérieurement le conduit d'amenée des eaux au puisard. Cette plaque porte sur ces côtés un rebord ou mentonnet *m* (Pl. 19, *fig.* 11), venant sous l'effet de la pression des eaux, s'appliquer contre une garniture *p* en caoutchouc emprisonnée dans une rainure que portent les rebords en fonte *b* qui sont scellés dans les maçonneries. Un ruban de cuir *q* fixé sur le

bord de la vanne vient s'appliquer contre la pièce *b*, et complète l'obturation du joint.

Ces dispositions ont permis de réaliser une étanchéité presque parfaite.

Cette vanne se manœuvre à l'aide d'une vis que l'on actionne du haut et qui agit sur une crémaillère engrenant avec un arc denté *a*, qu'elle porte à la partie supérieure.

Deux galets mobiles guident le mouvement.

Un masque en forme de demi-ellipse ferme la partie supérieure de l'orifice ; il est percé d'une ouverture que l'on peut déboucher en tout ou en partie à l'aide d'une vannette à coulisses que l'on manœuvre avec une grande facilité en agissant sur la vis qui la commande.

Cette vannette nous a été de la plus grande utilité ; car, pendant nos expériences, elle fournissait à elle seule le débit d'une des turbines. On pouvait le faire varier, du reste, en tournant sans le moindre effort la manivelle supérieure ; le nombre de tours de cette dernière pouvait au besoin indiquer l'ouverture de la vannette.

Cette dernière présente, en outre, un autre avantage : elle facilite l'ouverture de la grande vanne. Voulait-on, en effet, entreprendre l'épuisement du bassin, il suffisait de fermer la plaque du trou d'homme ménagé dans le plancher étanche, d'ouvrir la vannette qui opérait le remplissage du puisard en quelques secondes, puis, une fois le puisard rempli, de manœuvrer la vanne, ce qui se faisait avec la plus grande facilité, car la pression étant alors la même sur ses deux faces, on n'avait guère à soulever que son propre poids.

Une vanne à coulisses eût certainement bénéficié aussi de cette disposition bien simple ; mais il est de toute évidence que son installation eût été ici bien plus compliquée.

DEUXIÈME PARTIE.

TRAVAUX DE PRÉPARATION DE L'EMPLACEMENT DES MACHINES.

Batardeau provisoire (voir Pl. 19, *fig.* 10). — Il s'agissait d'isoler des eaux et de maintenir à sec un espace de 400 mètres carrés, à peine suffisant pour permettre l'exécution de tous les travaux de terrassement, de déblai de roc et de maçonnerie, nécessités par l'établissement des appareils d'épuisement.

Il eût été difficile d'établir le batardeau définitif dans l'eau sans recourir à l'emploi de moyens extrêmement coûteux ; le béton immergé, comme l'expérience nous l'a encore mieux montré, eût donné les plus mauvais résultats; car il eût fallu se résoudre ou bien à le couler sur une couche de galets et gravier, ou à draguer dans l'eau à grands frais pour aller atteindre le rocher. Or le rocher, dans cette partie, est formé de schistes feuilletés ou fissurés.

Il était donc préférable de tous points de voir directement le fond, afin d'être à même de savoir quelles précautions il fallait prendre.

Des sondages préalables à la langue américaine nous indiquèrent une sorte de fond rocheux à la cote de zéro environ ; mais nous n'attachions qu'une médiocre confiance aux indications de cet instrument, qui pouvait rencontrer à chaque instant de gros cailloux qu'il n'avait pas la force de rompre et pouvant faire croire à l'existence du rocher.

Par la suite, en effet, nous n'avons trouvé un véritable rocher que beaucoup plus bas que ne l'indiquaient ces premières expériences; la construction préalable d'un batardeau provisoire s'est donc trouvée doublement motivée.

Il devait avoir un développement de plus de 70 mètres et résister à une pression d'eau de 3 mètres.

Nous renonçâmes tout d'abord à l'idée de construire le batardeau défensif en maçonnerie par portions à l'aide de caissons sans fond analogues à ceux que l'on emploie couramment; ils eussent été beaucoup plus coûteux, tout en présentant l'inconvénient d'offrir aux eaux une surface d'infiltration totale plus considérable qu'un batardeau unique. Il eût donc fallu, dans ce cas, ou bien ne faire le travail que par portions successives reliées entre elles après coup, ou bien se résoudre à augmenter considérablement les frais d'épuisement.

La membrure est formée principalement d'une cloison intérieure, avec pieux et palplanches doublement moisés, et d'une cloison moins élevée à l'extérieur, moisée dans le haut. La première, partout où cela a été possible, a été complétée par un tamponnage d'argile forte entre les palplanches et un bordage cloué sur les moises internes.

Ces deux cloisons sont réunies : 1° par un tirant horizontal assemblé sur les pieux correspondants; 2° par deux écharpes qui moisent le précédent et joignent la partie supérieure de la première cloison à la partie inférieure de l'autre.

L'intervalle en forme de trapèze a été rempli par de l'argile corroyée et mélangée avec du foin.

Le talus, exposé à l'action de l'eau, a été recouvert d'une couche de foin, et enfin de moellons plats schisteux.

Un talus de moellons défend la petite cloison à l'extérieur.

Il est facile de se rendre compte qu'avec les dimensions adoptées, la stabilité du barrage est parfaitement assurée, à la condition toutefois que l'argile forme une masse compacte et ne coule pas.

Or le tirant et les écharpes rendent l'assemblage rigide et transmettent de la grande cloison à la petite l'effort que la

première supporte; il doit en résulter une compression de l'argile favorable à sa tenue. Le calcul de ces pièces est dès lors très simple.

La préparation de l'argile se fait par couches de $0^m,20$ à $0^m,30$ d'épaisseur, que des hommes piétinent en répandant le foin et arrosant de temps à autre.

Résultats obtenus; prix d'établissement. — Le batardeau en argile a fonctionné pendant plus de deux mois. L'emplacement de la partie qui fait face au redan de la vanne avait été dragué avec grand soin, le batardeau établi dans de bonnes conditions; il a été constamment d'une étanchéité parfaite.

Deux renards importants se sont produits en d'autres points; ils étaient dus à des malfaçons. Aujourd'hui que le batardeau est à sec, leur emplacement est marqué par des pieux plus courts que les dessins d'exécution ne l'indiquaient, et qui par conséquent n'ont pas été fichés dans le sol. L'un d'entre eux était à $0^m,30$ ou $0^m,40$ au-dessus du fond.

On s'est rendu maître de ces renards en dégarnissant le batardeau jusqu'à sa partie inférieure à la faveur de l'abaissement des eaux, en rechargeant de l'argile nouvelle et en garnissant le pied de la grande cloison par des déblais terreux maintenus par des moellons.

Ces quelques accidents, comme on le voit, auraient pu être évités, et le fait qui ressort de cet exposé est que ce batardeau a donné de bons résultats.

Il avait 70 mètres de long, résistait à une pression d'eau de 3 mètres, et n'a coûté que 5.231 francs.

Il isolait une surface de 400 mètres carrés.

Pour des fondations en rivière de faible profondeur, son emploi, pour peu que les fondations soient importantes, serait sans doute motivé.

On pourrait peut-être, dans ce cas, remplacer l'argile

par de la terre forte ou du sable argileux, qui nous faisaient absolument défaut.

Si cependant il devenait nécessaire de l'enlever après coup, son avantage disparaîtrait probablement. Mais la plupart du temps il pourrait, après avoir été chargé de moellons et de blocs, être maintenu comme défense.

Épuisements; travaux de creusement du puisard; fondations des machines. — Les épuisements étaient effectués d'abord par une pompe Letestu pouvant débiter jusqu'à 2 à 3 mètres cubes par minute, mais dans les circonstances les plus favorables. Quand la hauteur d'aspiration atteignit 7 mètres, pendant le creusement du puisard, il fallut lui en adjoindre une seconde de force moitié moindre.

La première de ces pompes était actionnée à l'aide d'une transmission télodynamique, avec poulies à oreilles garnies de caoutchouc et câble en fil de fer, par une locomobile placée sur la cale à 18 mètres de distance environ.

Plus tard, le câble étant venu à manquer, on le remplaça par une corde ordinaire qui fonctionna bien. On parait à son extension progressive en déplaçant un peu la locomobile.

L'établissement du batardeau définitif fut immédiatement entrepris; mais on ne put l'installer sur le rocher que dans le voisinage du barrage. Il eût été trop coûteux de descendre plus bas. Les plates-formes des machines furent construites; on les relia inférieurement entre elles et au batardeau par un radier en maçonnerie de $0^m,50$ d'épaisseur.

Le déblai du puisard put se faire à peu près complètement au pic; quelques cartouches de dynamite furent néanmoins employées pour désagréger la masse. Les explosions ne pouvaient détériorer les maçonneries, car leur action était fort limitée, en raison des nombreuses fissures ou soufflures que présente le rocher en cet endroit.

Enfin la vanne fut mise en place, et on put ouvrir vis-

à-vis du conduit le batardeau en argile, pour commencer à l'aide du scaphandre et de la dynamite l'exécution d'une rigole de faible profondeur, qui fut ensuite établie à sa cote définitive, après l'asséchement général du chantier.

Les maçonneries du batardeau avaient été construites avec mortier à 450 kilog. de chaux additionnée de 100 kilog. de ciment. Elles furent mises en charge moins d'un mois après leur achèvement.

La vanne étant fermée, il se produisait néanmoins quelques infiltrations venant un peu de tous côtés se réunir dans le puisard. On y tint facilement tête à l'aide de la petite pompe dont nous avons parlé.

Cette pompe et sa locomobile furent ensuite placées à poste fixe près du hangar des machines.

Elles sont de la plus grande utilité pour le curage du puisard qui se fait facilement en fermant la vanne extérieure, après avoir arrêté les turbines pendant les heures de repos des ouvriers, et mettant la pompe en mouvement.

Il devient alors facile de descendre dans le puisard, ce que le remous occasionné par les turbines rend dangereux et même impossible en temps ordinaire.

Dépenses. — Ces divers travaux ont nécessité les dépenses ci-après :

	francs.
Batardeau en argile.	5.231,00
Déblais, terrassements, maçonneries.	15.011,75
Charpente du hangar.	7.433,00
Plancher étanche	1.505,06
Accessoires de toute sorte.	7.297,64
	36.478,45

Soit en y comprenant les épuisements, un total d'environ 40,000 francs.

Les machines ayant coûté 160.000 francs, le chiffre de la dépense totale ressort donc à 200.000 francs.

Cette dépense est faible eu égard aux économies qu'elle a permis de réaliser dans l'ensemble des travaux de restauration des fondations du bâtiment.

Dépenses d'entretien. — Le service des machines est organisé de telle façon qu'il y ait toujours, jour et nuit, trois hommes sur le chantier.

Les dépenses journalières n'atteignent pas 100 francs. L'avantage d'une installation unique pour tout le chantier est donc évident.

Dans de pareilles conditions et en tenant compte de l'intérêt et de l'amortissement (ensemble estimés à 10 p. 100) du capital de premier établissement, le mètre cube d'eau à 1 mètre de hauteur revient à moins de $0^f,001$ (1 millime), le mètre cube d'eau évacué à $0^f,005$ (5 millimes).

EXPÉRIENCES FAITES SUR LES APPAREILS D'ÉPUISEMENT. RENDEMENT DES TURBINES, ETC.

Le marché passé avec la compagnie des Forges et Chantiers prescrivant naturellement des épreuves de réception, nous saisîmes l'occasion qui nous était fournie pour agrandir un peu le cadre des expériences obligatoires. Nous donnons ci-après les résultats obtenus (*). Ces expériences étaient rendues possibles par les dispositions que nous avions adoptées pour la vanne d'introduction des eaux.

Consommation de charbon. — Aux termes du marché la dépense de charbon devait être dans le cours d'une expérience de quatre heures consécutives, de 1 kilogramme par heure et par force de cheval de 75 kilogrammètres. Chaque décagramme en plus entraînait une amende de 250 francs, à un $1^k,20$, l'appareil pouvait être rebuté.

(*) La Commission nommée à cet effet était composée de M. Choron, ingénieur des constructions navales, et de nous. Les expériences furent faites de concert avec M. Sigaudy, ingénieur des forges et chantiers.

Nous ne nous arrêterons pas sur ces expériences qui furent faites par les procédés ordinaires en mesurant la force à l'aide de l'indicateur de Watt.

Citons seulement ce fait que la dépense de charbon qui dépassait $1^k,20$ dans les premières expériences ne pût être ramenée à 1 kilogramme qu'en enveloppant les chaudières de *feutre.*

La déperdition de chaleur par la surface était donc considérable puisqu'elle conduisait à un supplément de dépense de charbon d'un peu plus de 200 grammes.

Les conditions du marché, très sévères pour des appareils de ce genre, ne purent du reste être réalisées que moyennant une conduite très habile des feux.

Il faudrait donc bien se garder de croire que le chiffre réalisé traduit la dépense réelle de charbon ; en service courant, elle est certainement plus considérable.

Rendement des appareils. — Nous nous sommes proposé de déterminer entre quelles limites varie le rapport du travail utile estimé en eau élevée ou refoulée à une certaine hauteur, à celui appelé travail indiqué qui s'exerce réellement sur les pistons et qui est mesuré à l'aide des courbes inscrites par l'indicateur de Watt.

Ce rapport donnera le rendement non pas des turbines, mais de l'ensemble des machines et des turbines.

Pour obtenir celui des turbines proprement dit, il eût fallu mesurer directement au frein ou par tout autre moyen la puissance qui leur est réellement transmise par les courroies. Ces opérations eussent été certainement longues et assujettissantes ; l'exiguité du puisard les rendait d'ailleurs à peu près impossibles.

Si cependant on admet comme cela se pratique généralement dans des conditions analogues que la puissance transmise par les organes de la machine, est les 0,72 de la puissance indiquée, on arrive à ce résultat que pour obtenir le rendement propre des turbines, il faut diviser par 0,72

les rendements que nous donnons plus bas. On arriverait alors à des chiffres compris entre 50 et 60 p. 100 qui concordent avec ceux donnés dans certaines publications.

Le mode d'opérer pour obtenir ce que nous appellerons le *rendement*, estimé par rapport à la puissance indiquée était des plus simples.

La petite vanne étant ouverte et fournissant à l'un des appareils son débit d'eau, on la fermait rapidement; une fois fermée et à un signal donné, la machine marchant toujours, on notait le temps nécessaire pour produire dans le niveau de l'eau du puisard un abaissement de 1 mètre. L'allure de la machine était maintenue aussi constante que possible, et pendant ces quelques secondes, on prenait une courbe.

Les dimensions du puisard étant connues, on calculait le volume d'eau ainsi enlevé (en tenant compte naturellement de l'espace occupé par les tuyaux d'aspiration et de circulation); la hauteur totale d'aspiration et de refoulement, quand il y avait refoulement, était mesurée par la distance qui séparait le niveau de la mer à l'extérieur du niveau moyen dans le puisard pendant l'expérience.

A mer basse, l'eau se déversant par-dessus la vanne, on mesurait pour cette hauteur la distance séparant le centre de la veine liquide du niveau dans le puisard.

En prenant deux courbes, l'une sur le petit cylindre, l'autre sur le grand, on obtenait le travail du petit piston et celui du grand. Ces deux travaux sont à peu près les mêmes, leur somme donne le travail *indiqué*. En l'appelant T, nommant P le nombre de kilogrammes d'eau élevés à la hauteur h, en une seconde, le rendement devient

$$\frac{Ph}{75\,T}.$$

Les tableaux (1) et (2) donnent dans la dernière colonne les nombres ainsi calculés.

Le débit par seconde a été estimé en tenant compte des infiltrations dont le cube s'ajoute avec le cube mesuré d'après le puisard seulement. Leur débit avait été déterminé avec diverses hauteurs d'eau dans le bassin en faisant fonctionner la petite pompe Letestu.

APPAREILS D'ÉPUISEMEN

(1) Essais de débit d

Heures des observations.	Numéros des courbes.	Pression à la chaudière.	Ouverture de la valve.	INTRODUCTION. Petit cylindre.	INTRODUCTION. Grand cylindre.	Vide au condenseur.	Nombre de tours.	PETIT CYLINDRE. Pression moyenne.	PETIT CYLINDRE. Contre-pression moyenne.	PETIT CYLINDRE. Chevaux de 75 kilogtres.	GRAND CYLINDRE. Pression moyenne.	GRAND CYLINDRE. Contre-pression moyenne.	GRAND CYLINDRE. Chevaux de 75 kilogtres.
h. m.		kilog.				c. m.		kilog.	kilog.		kilog.	kilog.	
11 5	2	5,4	0,15	0,3	0,7	71,5	107,0	2,361	1.061	36,12	0,676	0,162	31,67
11 25	3	4,5	0,15	id.	id.	71,5	103,0	2,230	0,948	32,84	0,623	0,179	28,10
11 55	4	4,25	0,1	id.	id.	71,5	106,0	2,201	0,935	33,36	0,643	0,141	29,85
12 5	5	3,75	0,1	»	»	72,0	93,0	1,873	0,841	24,90	0,586	0,113	23,86
12 30	6	4,5	0,1	»	»	72,0	99,0	2,038	0,916	28,85	0,612	0,134	26,53
12 56	7	4,25	0,1	»	»	72,0	106,0	2,221	0,972	33,66	0,641	0,139	29,7
1 10	8	4,25	0,15	»	»	72,0	101,0	2,239	0,911	32,33	0,621	0,129	27,47
1 35	9	4,5	0,15	»	»	72,0	107,0	2,319	0,962	35,48	0,633	0,148	29,66
2 00	10	4,75	0,15	»	»	72,0	113,0	2,338	1,005	37,78	0,636	0,192	31,47
2 20	11	4,75	0,15	»	»	72,0	111,0	2,272	0,935	36,06	0,619	0,172	30,09
2 40	12	4,75	0,15	»	»	72,0	104,0	2,343	0,915	34,84	0,624	0,206	28,42
2 55	13	5,0	0,15	»	»	72,0	116,0	2,328	0,986	38,61	0,619	0,170	31,44
3 15	14	4,75	0,1	»	»	72,0	115,0	2,174	0,948	35,75	0,594	0,208	29,91
3 35	15	4,25	0,2	»	»	72,0	117,0	2,145	0,948	35,88	0,587	0,184	30,07
4 00	16	5,25	0,2	»	»	73,0	120,0	2.296	0,957	39,40	0,597	0,163	31,37
4 15	17	5,25	0,2	»	«	73,0	124,5	2,596	1,042	46,21	0.670	0,179	36,53
4 30	18	4,50	0,7	»	»	72,0	129,0	2,685	1,155	49,52	0,740	0,170	41,80
4 45	19	5,0	0,3	»	»	73,0	127,5	2,563	1,112	46,72	0,694	0,162	38,7
5 5	20	5,25	0,8	»	»	73,0	136,0	2,929	1,281	56,96	0,783	0,189	46,6
5 15	21	4,75	1,0	»	»	72,0	133,0	2,798	1,220	53,21	0,740	0,170	43,1

(2) Essais de débit d

Heures des observations.	Numéros des courbes.	Pression de la chaudière.	Ouverture de la valve.	INTRODUCTION au petit cylindre.	INTRODUCTION au grand cylindre.	Vide au condenseur.	Nombre de tours.	PETIT CYLINDRE pression moyenne.	PETIT CYLINDRE contre-pression moyenne.	PETIT CYLINDRE chevaux de 75 kilogtres.	GRAND CYLINDRE pression moyenne.	GRAND CYLINDRE contre-pression moyenne.	GRAND CYLINDRE chevaux de 75 kilogtres.
h. m.		kilog.				c.m.		kilog.	kilog.		kilog.	kilog.	
10 45	2	4,5	0,5	0,3	0,7	71,0	123,0	2,831	1,164	49,79	0,736	0,151	39,6
11 25	3	4,25	0,5	»	»	70,0	122,0	2,656	1,112	46,33	0,732	0,141	39,1
11 30	4	4,25	0,5	»	»	69,5	120,0	2,718	1,167	46,64	0,728	0,158	38,2
11 55	5	4,5	0,5	»	»	70,0	119,0	2,803	1,225	47,69	0,776	0,162	40,4
12 20	6	4,0	0,6	»	»	70,0	117,0	2,461	1,166	41,17	0,747	0,139	38,2
12 45	7	4,50	0,6	»	»	71,0	123,0	2,652	1,221	46,64	0,796	0,136	42,8
1 10	8	4,50	0,5	»	»	71,0	121,0	2,622	1,206	45,36	0,788	0,158	41,7
1 35	9	4,75	0,5	»	»	71,0	122,0	2,718	1,211	47,41	0,771	0,155	41,1
1 55	10	4,5	0,5	»	»	70,0	119,0	2,493	1,178	42,42	0,757	0,143	39,4
2 20	11	4,75	0,6	»	»	70,5	125,0	2,817	1,305	50,35	0,827	0,160	45,2
2 40	12	4,75	0,5	»	»	69,0	121,5	2,789	1,216	48,45	0,786	0,150	41,8
3 10	13	5,0	0,3	»	»	69,5	116,5	2,381	1,103	39,66	0,683	0,136	34,8
3 25	14	4,75	0,3	»	»	69,5	110,0	2,357	1,089	37,07	0,667	0,151	32,1
3 55	15	5,0	0,3	»	»	70,0	113,0	2,395	1,084	38,70	0,688	0,143	34,0
4 5	16	4,5	0,3	»	»	70,0	107,0	2,150	1,121	32,89	0,586	0,155	27,4

DE CHERBOURG.

31 décembre 1877.

Somme des chevaux.	Hauteur de la mer.	Hauteur du puisard.	Durée de l'observation.	Nombre de tours de la turbine.	Débit par seconde.	HAUTEUR d'aspiration	HAUTEUR de refoulement.	Hauteur totale F	Travail utile F'	Rendements $\frac{F}{F'}$
			secondes.			mètres.	mètres.			
67,79	+7,20	—1,25	55,0	214	567	2,45	1,00	3,45	24,94	0,383
60,94	2,20	1,05	69,0	206	450	2,25	1,00	3,25	18,00	0,319
63,21	2,20	1,00	65,5	212	471	2,20	1,00	3,20	18,24	0,318
48,76	2,20	1,05	91,5	186	341	2,25	1,00	3,25	13,41	0,303
55,38	2,20	1,25	80,5	198	394	2,45	1,00	3,45	16,81	0,326
63,41	3,10	1,20	72,0	212	439	2,40	1,07	3,40	19,20	0,314
59,80	2,27	1,25	79,0	202	401	2,45	1.07	3,52	18,82	0,315
65,14	2,48	1,33	78,0	214	409	2,55	1,28	3,83	20,88	0,320
69,25	2,78	1,45	70,0	226	458	2,65	1,58	4,23	25,83	0,373
66,15	3,14	1,14	72,5	222	433	2,34	1,94	4,28	24,70	0,373
63,26	3,52	1,22	73,5	208	428	2,42	2,32	4,74	27,04	0,427
70,05	3,68	1,21	73,0	232	427	2,41	2,48	4,89	27,77	0,396
65,66	4,03	1,22	84.0	230	378	2,42	2,83	5,25	26.33	0,401
65,95	4,35	1,19	85,5	234	370	2,39	3,15	5.54	27,33	0,414
70,77	4,60	1,11	84,5	240	375	2,31	3,40	5,71	28,55	0,403
82,74	4,75	1,26	84,0	249	377	2,46	3,55	6.01	30,21	0,365
91,32	4,88	1,20	69,0	258	457	2,40	3,68	6,08	37,04	0,406
85,47	5,00	1,21	74,0	255	427	2,41	3,80	6,21	35,35	0,410
103,59	5,15	1,17	62,0	272	506	2,37	3,95	6,32	42,55	0,410
96,31	5,00	1,15	64,0	266	490	2,35	4,13	6,48	43,33	0,430

4 janvier 1878.

Somme des chevaux.	Nombre de tours de la turbine.	Hauteur d'eau dans le puisard.	Hauteur de la mer.	Durée de l'observation.	HAUTEUR d'aspiration.	HAUTEUR de refoulement.	Débit par seconde.	Hauteur totale F	Travail utile F	Rendements $\frac{F}{F'}$
				secondes.				mètres.	chevaux.	
89,43	246	—1,32	+3,80	71	3,52	2,60	442,0	5,12	30,17	0,337
85,44	244	1,47	3,40	72	2.67	2,20	443,5	4,87	28,79	0,337
84,89	240	1,50	3,05	66	2,70	1,85	487,0	4,55	25,54	0,340
88,13	238	1,38	2,65	57	2,58	1,45	455,0	4,03	29,82	0,338
79,44	234	1,70	2,30	66	2,90	1,10	501,0	4,00	26,72	0,336
89,51	246	1,41	2,20	55	2,61	1,00	577,0	3,61	27,77	0,310
87,11	242	1,40	2,20	53	2,60	1,00	598,0	3,60	28.70	0,329
88,60	244	1,45	2.20	56	2,65	1,00	569,0	3,65	27,45	0,310
81,87	238	1,30	2,20	59	2,50	1.00	531,0	3,50	24,77	0,302
95,62	250	1,45	2,20	53	2,65	1,00	603,0	3,65	29,34	0,306
90,27	243	1,42	2,20	55	2,62	1,00	579,0	3,62	27,97	0,309
74,50	233	1,80	2,20	66	3,00	1,00	505,0	4,00	26,94	0,360
69,20	220	1,45	2,20	70	2,65	1,00	456,0	3,65	22,19	0,320
72,75	226	1,38	2,20	67	2,58	1,00	472,0	3,58	22,53	0,309
60,35	214	1,49	2,20	75	2,69	1,00	427,0	3,69	21,08	0,347

Interprétation de ces résultats. — Les premiers chiffres du tableau (1) ont été obtenus alors que le niveau de la mer était inférieur à celui du seuil de la plaque en tôle ; l'eau s'écoulant alors à ciel ouvert. Ils concordent suffisamment entre eux, le premier seul s'écarte notablement des autres, ce qui tient à une erreur qu'il nous a été impossible de rendre palpable.

Les suivants ont été déterminés, alors que la mer venant à monter l'orifice se trouvait de plus en plus noyé. *Comme on le voit le rendement est notablement augmenté par ce fait que les turbines refoulent au lieu de déverser.*

Les chiffres du tableau (2) ont été calculés les premiers en orifice plus ou moins complètement noyé, les autres en orifice découvert. Ils concordent avec ceux du tableau (1).

La hauteur totale d'aspiration et de refoulement, augmentant, l'allure des machines est plus vive, dès lors elles transmettent moins bien la force aux appareils qu'elles mettent en mouvement. Si donc dans ce cas on observe un effet utile plus considérable, il ne peut tenir qu'à ces derniers, c'est-à-dire aux turbines.

En rapprochant ces faits de celui signalé plus haut de la difficulté d'amorçage des pompes centrifuges, et de la nécessité de les maintenir toujours en charge d'eau, nous croyons pouvoir en conclure que ce sont des appareils beaucoup plus aptes au refoulement qu'à l'aspiration.

Il y aura donc toujours avantage, croyons-nous :

1° A diminuer la hauteur d'aspiration au bénéfice de celle de refoulement ;

2° Dans un ordre d'idées semblable, quand il ne peut y avoir refoulement dans une masse d'eau indéfinie, à en créer un artificiel, c'est-à-dire à terminer par exemple l'extrémité supérieure du tuyau par une sorte d'épanouissement, formant un réservoir horizontal, par les bords duquel les eaux refoulées puissent s'écouler.

Cette disposition aura en outre l'avantage de maintenir

plus longtemps les turbines pleines d'eau, leur mise en train sera dès lors des plus commodes.

Coefficients de rendement. — En formant des moyennes d'après les tableaux (1) et (2), on arrive aux chiffres suivants :

Orifice à découvert.	Rendement des appareils d'épuisement.	0,319
	Rendement propre de la turbine. . . .	0,443
Orifice noyé. . . .	Rendement des appareils d'épuisement.	0,411
	Rendement propre de la turbine. . . .	0,570

Les rendements propres des turbines, par rapport à la force qui leur est transmise sont obtenus en divisant les rendements obtenus plus haut par 0,72.

APPENDICE.

Détermination du coefficient de dépense par un orifice noyé, rectangulaire en mince paroi. La charge étant la même, les coefficients de dépense en orifice noyé ou à ciel ouvert sont les mêmes. — Nous nous proposions, ce que la mise en train des travaux ne nous a pas permis de faire, d'étudier d'une façon complète les diverses circonstances du mouvement de l'eau dans les turbines et leurs tuyaux.

La connaissance du coefficient de dépense par l'orifice de la petite vanne nous était utile, nous donnons ici sa détermination, car nous ne sachons pas qu'il existe de tables de coefficients de dépense en orifice noyé, celles de Lesbros s'appliquant aux orifices découverts.

M. l'ingénieur en chef Bresse, dit toutefois à la page 91 de son ouvrage d'hydraulique (édition 1868), qu'il semble naturel d'admettre que les considérations données à propos des veines débouchant librement dans un gaz, dont la pression aurait été choisie de manière à ne pas altérer la charge, sont applicables dans le cas qui nous occupe.

Nous donnons ici une confirmation complète de ces prévisions, et bien que le temps nous ait manqué pour faire

des expériences étendues, le résultat obtenu seulement pour l'orifice complètement ouvert de la petite vanne *v*, nous paraît utile à connaître.

La vanne démasque une ouverture rectangulaire en mince paroi de $0^m,35$ horizontalement sur 0,28 verticalement.

Le niveau dans le bassin étant en moyenne de + 2 mèt. pendant nos expériences, la charge estimée par la différence de niveau entre l'extérieur et le puisard variait autour de 3 mètres (*).

En supposant que le coefficient de dépense soit d'après les considérations qui précèdent celui correspondant pour un orifice à l'air libre, et cherchant à la page 546 de l'ouvrage cité plus haut, celui qui est relatif à un orifice de forme à peu près semblable au nôtre, on trouve 0.639.

Pour obtenir directement le coefficient de dépense en orifice noyé, nous avons d'abord noté le temps que mettait l'eau à monter d'une certaine hauteur dans le puisard, la vanne une fois ouverte. La connaissance des niveaux au commencement et à la fin de l'expérience, et celle du niveau dans le bassin, entraîne celle du coefficient de dépense moyen pendant l'expérience.

En effet :

Nommons S la section horizontale du puisard,

ω la section de l'orifice,

ho et *h* les différences de niveau initiales et finales entre le bassin et le puisard,

m le coefficient de dépense.

Nous aurons la relation :

$$m\omega\sqrt{2g}\,h^{\frac{1}{2}}\,dt = -s\,dh,$$

(*) Le centre de la vanne est à la cote — 1,86, il était toujours noyé.

D'où en intégrant et en isolant m,

$$\frac{2s\left(ho^{\frac{1}{2}}-h^{\frac{1}{2}}\right)}{\omega\sqrt{2gt}}=m.$$

Ou

$$\frac{s\left(ho^{\frac{1}{2}}-h^{\frac{1}{2}}\right)}{0{,}217\,t}=m.$$

dans laquelle S est connu et déterminé en tenant compte des tuyaux qui se trouvent dans le puisard et du conduit voûté. Ce dernier n'est pas à section horizontale constante, on a déterminé sa surface moyenne, ce qui n'a que fort peu d'influence sur le résultat final.

ho, *h*, et *t* sont mesurés directement.

Les infiltrations eussent pu être une cause de petite erreur, très faible du reste et négligeable; néanmoins on les a éliminées en laissant marcher la petite pompe Letestu, qui fonctionnait à ce moment.

Huit expériences ont été faites, coïncidant entre elles quatre à quatre. Le calcul de m n'a donc été fait que deux fois. Les chiffres trouvés pour m ont été de

0,635, 0,641.

Comme on le voit, ils se rapprochent autant qu'il est possible du nombre 0,639 donné plus haut. Nous les donnons pour des résultats très exacts, les expériences et les calculs ayant été faits avec grand soin.

CHAPITRE QUATRIÈME.

Appareil servant à mesurer directement les efforts auxquels sont soumises les diverses parties d'une construction, particulièrement applicable aux constructions en fer ou en bois.

Il existe beaucoup d'appareils de ce genre; nous citerons entre autres celui que M. l'ingénieur en chef Dupuy a em-

ployé dans ses intéressantes expériences (*Annales des ponts et chaussées*, 1878).

La multiplication des déformations s'obtient toujours à l'aide d'un levier à bras inégaux ; tel est leur point commun.

Celui que nous décrivons ici (Pl. 19, *fig.* 9) fonctionne dans toutes les positions et dans toutes les conditions possibles, et multiplie la déformation elle-même, condition qui n'est pas toujours obtenue.

Il se compose principalement d'un fil métallique attaché à une extrémité à une vis permettant le réglage préalable de l'appareil, et passant à l'autre, sur une poulie qu'il contourne complètement avant d'être attaché à un contre-poids. Pour éviter tout glissement, il est arrêté en outre par un petit taquet placé dans la gorge de la poulie.

Cette poulie porte un index multipliant dix fois le chemin parcouru par sa circonférence, et qui est suffisant pour nos expériences.

L'extrémité de cet index circule en face d'une graduation en millimètres. Il peut actionner deux curseurs donnant les maxima d'allongement ou de compression.

La vis à l'une des extrémités et l'appareil à l'autre peuvent être fixés sur des pièces spéciales.

Ces dernières sont de deux types, l'une servant pour serrer le tout contre un tirant ou sur les semelles d'un fer à T par exemple, l'autre pour appliquer l'appareil contre une surface ordinaire, comme l'âme d'un fer à T.

L'appareil étant en position, réglé au o, et le fil étant tendu d'une manière constante par le contre-poids, on comprend que, si la pièce sur laquelle il est fixé vient à s'allonger ou à se raccourcir, la poulie sera actionnée par le fil, et le levier qu'elle porte multipliera le chemin parcouru par sa circonférence, c'est-à-dire l'allongement ou le raccourcissement rigoureux.

Si l'on veut étudier les efforts maxima (les plus intéres-

sants à connaître), il suffira de pousser les deux curseurs contre l'extrémité de la flèche.

L'axe de la poulie doit être tourné avec grand soin, ainsi que la surface qui l'enveloppe, afin d'éviter les *temps morts* de l'aiguille, c'est-à-dire les déplacements que l'on peut lui faire subir à la main sans rencontrer la résistance du contre-poids.

On peut, du reste, éliminer cette cause d'erreur en poussant l'aiguille *à bloc* jusqu'à ce qu'on rencontre une résistance dans le sens qu'elle doit parcourir; toujours, ou presque toujours, ce sens est connu *à priori*. On sait, en effet, ou l'on peut déterminer par avance quelles sont les pièces qui travaillent à la tension ou à la compression.

Cette cause d'erreur est, du reste, négligeable dans la pratique pour un appareil même grossier.

Cet appareil peut fonctionner sur des pièces inclinées d'une façon quelconque. On peut étudier leur travail sur une longueur quelconque, il suffit de faire varier celle du fil; il se démonte facilement et peut s'enfermer dans une petite boîte fort peu encombrante.

Nous donnerons une idée de sa grande sensibilité en signalant ce fait, qu'il suffit de passer presque instantanément une allumette sous le fil pour voir l'aiguille se déplacer de 1, 2, 3 millimètres.

Cherbourg, février 1879.

(*) Pour les constructions en fer, les dilatations pourraient être une cause d'erreur; on peut l'éliminer en se servant d'un fil de fer ou d'un métal aussi semblable que possible à celui dont sont formées les pièces de l'ouvrage.

Tel qu'il est installé, il peut en outre s'appliquer immédiatement à des expériences directes sur les fils métalliques.

N° 38

PORT DE DIEPPE.

RÉPARATION DU RADIER DE L'ÉCLUSE DUQUESNE

NOTE

Par M. ALEXANDRE, Ingénieur des ponts et chaussées.

§ 1er. — Exposé.

Le bassin Duquesne est mis en communication avec l'avant-port de Dieppe par une écluse de 16m,50 de largeur dont le seuil est à lacote (1m,62) par rapport au zéro des cartes marines (plus basses mers connues).

Le haut radier présente en dehors des chambres des portes d'èbe et de flot, la forme d'un arc de cercle de 2m,75 de flèche; il est appareillé comme une voûte. L'épaisseur totale du bas radier est de 2m,40, dont 0m,65 en pierre de taille et 1m,75 en maçonnerie de béton (voir Pl. 20).

Le busc des portes d'èbe est en saillie de 0.40 par rapport au bas-radier et forme un chevron dont la flèche est le sixième de la largeur de l'écluse.

Ce busc porte une feuillure de 0m,30 de profondeur sur 0m,40 de hauteur, dans laquelle est fixée, à l'aide de boulons scellés au ciment, un heurtoir en chêne destiné à recevoir la buttée des portes et à protéger la pierre de taille contre les chocs qui pourraient la briser.

Le bassin Duquesne a une superficie de 4 hectares. Il communique avec le bassin Bérigny qui lui fait suite par une écluse de 14 mètres de largeur dont le seuil est à la

cote $1^m,97$, et avec le bassin de la Souille de la Retenue par une écluse de $16^m,50$, dont le seuil est à la cote ($1^m,62$) (niveau de celui de l'écluse Duquesne).

Depuis plusieurs années, le bassin Duquesne perdait un volume considérable dans l'intervalle des marées; cette déperdition avait pris au commencement de l'année 1878 des proportions inquiétantes; l'abaissement du plan d'eau atteignait 2 mètres entre deux pleines mers consécutives, et comme les grands navires qui fréquentent Dieppe ne trouvent pas, lors des faibles mortes-eaux, au moment même du plein, une profondeur suffisante dans les bassins (*), ils échouaient d'une manière presque continue dans le bassin Duquesne, qui n'était plus un bassin à flot que de nom. La situation était d'autant plus grave que les bassins actuels, même quand ils sont tous trois en service, ne suffisent plus pour assurer dans de bonnes conditions le mouvement maritime qui s'accroît constamment et a atteint 966.000 tonnes de jauge légale en 1878.

La déperdition des eaux du bassin Duquesne tenait à deux causes :

La première était l'état de détérioration complète dans lequel se trouvaient les parties inférieures des portes de l'écluse; ces portes, dépourvues de mailletage, étaient rongées par les vers marins qui semblent avoir fait leur apparition depuis que les eaux douces de la rivière d'Arques ne viennent plus se déverser dans le bassin Duquesne.

La réparation des portes était un remède simple et facile; nous ne nous y arrêterons pas.

La seconde cause de la déperdition des eaux, beaucoup plus difficile à faire disparaître, était le mauvais état du

(*) La hauteur d'eau disponible sur le radier de l'écluse Duquesne est, par les plus faibles mortes eaux, de $6^m,47 - 1^m,62$, soit $4^m,85$, qui correspond pour les navires à un tirant d'eau effectif de $4^m,50$, tandis que les grands steamers charbonniers qui viennent à Dieppe calent généralement de 5 mètres à $5^m,50$.

busc. Non seulement les pièces de chêne étaient, comme les parties inférieures des portes, complètement détruites par les vers, mais la pierre de taille se trouvait elle-même fortement endommagée dans la partie formant la pointe du heurtoir. Il était d'ailleurs fort compliqué de remédier au mal, voire même d'en mesurer exactement l'étendue. En effet, lors de la basse mer descendante, le radier qui devrait être à sec en vive eau, est constamment noyé par un volume de 2.500 litres environ par seconde qui provient des fuites passant par le busc de l'écluse Bérigny (fuites que l'on n'est jamais arrivé à étancher). Ce volume s'écoule avec une vitesse superficielle, au milieu, d'environ 2 mètres par seconde, sur le fond curviligne du radier Duquesne et couvre les points à réparer; aussitôt après l'étale de basse mer, dont la durée est à peine appréciable, le flot rentre, en vive eau, avec une vitesse qui, au bout de quelques instants de mer montée, atteint $2^{m},25$ par seconde.

§ 2. — Choix d'une solution.

La condition la plus importante à laquelle devaient satisfaire les dispositions à prendre pour réparer le radier de l'écluse Duquesne était de ne pas intercepter la circulation des navires. C'est par cette écluse, en effet, que s'effectue tout le mouvement maritime de Dieppe, et un chômage, quelque faible qu'il fût, eut été désastreux pour le port qui ne possède aucun marché et qui ne vit que de son transit.

De là, l'impossibilité absolue d'établir en travers de l'écluse un barrage fixe qui eut envoyé les eaux dans l'avant-port, en passant par la retenue et l'écluse des chasses: un pareil barrage aurait dû avoir au moins 4 mètres de hauteur et eût, en fait, fermé les bassins pour le commerce.

On ne pouvait songer davantage à faire passer les eaux au-dessus du radier, dans une sorte de chaîneau en charpente sous lequel on aurait travaillé; il eut encore fallu

admettre sur le radier une saillie fixe de plus d'un mètre, et la gêne pour la navigation eût été considérable; le radier est en effet déjà si élevé, que les steamers charbonniers ne peuvent pénétrer dans les bassins, et sont obligés de stationner dans l'avant-port, pendant les mortes-eaux, en subissant, par suite du retard, une perte que l'on évalue à 500 francs par jour et par steamer.

Qu'eût-ce été, si l'on avait encore diminué de 1 mètre la hauteur d'eau disponible?

Si l'on avait cherché, en réduisant la largeur du courant, à mettre à sec une partie du radier, on aurait, en raison de sa forme curviligne, produit dans la partie réservée à l'écoulement des eaux, une vitesse torrentielle, à laquelle aucune installation provisoire n'aurait pu résister. Nous devons avouer cependant, qu'effrayé des difficultés et des dépenses considérables que devait entraîner toute autre solution, nous avons essayé celle consistant à isoler au moyen d'une caisse sans fond, coulée au moment de la basse mer, une portion de $4^{m},00$ sur $2^{m},00$, de la surface à réparer. Le caisson, découpé sur ses faces de manière à s'appuyer exactement sur le fond du bas radier, sur les faces verticales du heurtoir et sur le fond curviligne du haut radier, pouvait être mis en place et être maintenu contre le flot, sinon aisément, du moins dans des conditions de manœuvre acceptables; mais la trépidation produite par les eaux qui couraient torrentiellement à droite et à gauche, empêchait toute adhérence, quels que fussent les moyens employés, et rendait l'épuisement dans le caisson impossible, bien que la surface à assécher fût extrêmement faible, et que nous disposions d'une pompe centrifuge puissante menée par une locomobile de 14 chevaux. Cette tentative ayant échoué, nous avons dû prendre un autre parti.

§ 3. — Dispositions adoptées.

La solution adoptée repose tout entière sur ce fait que les fuites du bassin Bérigny, dont la surface est de 3^h,60, correspondent à une hauteur de 0^m,25 par heure dans les conditions les plus défavorables, et que par suite, la surface du bassin Duquesne mesurant 4 hectares, le relèvement du plan d'eau dans ce bassin, si le passage du courant était complètement intercepté à l'écluse Duquesne, ne dépasserait pas 0^m,22 à 0^m,23 pendant une heure. Or, comme en raison des hauteurs comparées de la basse mer de vive eau et du radier, il n'était pas possible d'espérer travailler pendant plus de 2 heures et demie par les marées les plus favorables, le relèvement total devait être au maximum de 0^m,55 environ; le niveau moyen du fond du bassin (actuellement très envasé) se trouvant à la cote (2^m,60), le niveau du plan d'eau ne pouvait s'élever à la fin du travail de chaque marée au-dessus de la cote 2^m,60 + 0^m,55, soit (3^m,15) à (3^m,20). D'un autre côté, le bas radier étant établi à la cote (1^m,20), il suffisait de constituer à chaque marée un batardeau de 2 mètres environ de hauteur pour se mettre complètement à l'abri.

En tenant compte de ce que le haut radier de l'écluse Bérigny, sur lequel passent tous les steamers (le bassin Duquesne étant en chômage par suite de la construction d'un mur de quai), se trouve, comme nous l'avons indiqué plus haut, de 0^m,35 plus élevé que celui de l'écluse Duquesne, on pouvait, sans inconvénient, laisser fixe la partie inférieure du batardeau à établir sur 0^m,40 (saillie du busc) + 0^m,25 (*), soit sur 0^m,65, de telle sorte que la partie

---

(*) Pour que les steamers puissent passer avec une égale facilité sur les radiers des écluses Duquesne et Bérigny, il faut un peu plus d'eau à la première de ces deux écluses en raison de la houle qui s'y produit.

mobile à mettre en place à chaque marée, se réduisait à $2^m,00 - 0^m,65$, soit $1^m,35$.

En nous appuyant sur ces considérations, et en tenant compte de ce qu'une mise en place rapide était nécessaire, si l'on voulait qu'il restât un temps suffisant pour le travail utile, nous nous sommes arrêté aux dispositions suivantes :

1° *Batardeau.* — Le batardeau comprenait une partie fixe et une partie mobile.

La partie fixe se composait de deux caissons sans fond, de $5^m,50$ de longueur, sur $2^m,16$ de largeur, appuyés contre les bajoyers de l'écluse, remplis de glaise et constituant en quelque sorte les culées d'un pertuis pouvant être fermé par des poutrelles mobiles.

Ces deux caissons d'une hauteur de $2^m,12$, se trouvaient masqués presque complètement par la forme curviligne du radier, et ne gênaient pas la navigation. Toutefois, dans les angles supérieurs qui dépassaient le niveau du cintre du radier supposé prolongé, on avait disposé des pièces mobiles que l'on mettait en place lors des vives eaux, pendant lesquelles la navigation trouve assez d'eau, de manière à rendre insignifiante la saillie, et que l'on enlevait lors des mortes eaux pendant lesquelles les travaux étaient forcément suspendus.

Les caissons étaient formés de potelets de $\frac{30}{30}$ et de madriers de sapin de $\frac{22}{8}$ réunis par trois cours de moises de $\frac{25}{25}$; de forts boulons de $0^m,035$ de diamètre maintenaient l'écartement des parois.

Les caissons, soigneusement calfatés, avaient été coulés en place et immédiatement chargés pour éviter qu'ils ne se relevassent par l'effet de la sous-pression.

Leur fixité avait été assurée par des anilles en fer scellées dans les bajoyers et par des contre-fiches, venant butter dans les angles des enclaves des portes et contre le busc; tout mouvement était ainsi rendu impossible, soit au mo-

ment du travail, lorsque les caissons formaient culées du pertuis barré par les poutrelles, soit à mer montante, quand ils avaient à supporter l'effort du flot rentrant violemment dans le bassin.

Le pertuis laissé libre avait 7^{m},87 de largeur ; il pouvait être fermé par quatre poutrelles, dont trois de 9^{m},60 et une de 10^{m},60 de longueur, portant ainsi respectivement de 0^{m},76 à 1^{m},36 sur les caissons formant culées.

La première, la plus longue des quatre, formée de deux pièces de sapin superposées, mesurant une hauteur totale de 0^{m},65, mise en place une fois pour toutes à l'origine du travail, constituait un seuil fixe. Les pièces de sapin avaient été lestées au moyen de rails fixés aux faces latérales de manière à flotter entre deux eaux, puis amenées au point où elles devaient être coulées; afin de faciliter cette opération et d'arriver à serrer la face inférieure aussi fortement que possible sur le radier, on avait agi sur les deux extrémités de la poutrelle double, au moyen de crics placés verticalement et prenant leur point d'appui sur des taquets solidement cloués aux caissons ; aussitôt le serrage obtenu, de nouveaux taquets fixés également aux caissons avaient empêché la poutrelle de remonter. Ces taquets étaient disposés de manière à former des guides entre lesquels pouvaient se placer les poutrelles supérieures.

Les vides restant entre la face inférieure et le radier, très dégradé en plusieurs points, avaient été garnis de cales en bois, serrées au marteau par un scaphandrier.

Il était indispensable en outre, d'empêcher la poutrelle d'être entraînée dans le bassin Duquesne par le flot ; à cet effet, de fortes épingles en fer avaient été enfoncées à coups de masse dans le radier, au droit des abouts de la poutrelle, puis reliées aux caissons.

Les trois autres poutrelles (2, 3 et 4) étaient mises en place à chaque marée.

La deuxième était comme la première, formée de deux

pièces de sapin superposées ayant chacune $\frac{30}{30}$ d'équarrissage et lestées au moyen de rails placés latéralement de manière que sa face supérieure affleurât le niveau de l'eau ; grâce à cette disposition, sa mise en place s'effectuait rapidement, sans aucune difficulté, au moment où la lame d'eau, passant sur la première poutrelle, était peu différente de $0^m,60$.

La troisième et la quatrième poutrelles n'étaient pas lestées ; amenées au droit du pertuis, elles étaient soulevées à force de bras au moyen des amarres qui les retenaient sur les deux rives.

L'une d'elles mesurait $\frac{30}{30}$ d'équarrissage, la seconde $\frac{25}{25}$; cette dernière était munie d'une hausse de $0^m,16$, sur $0^m,08$ d'épaisseur, de manière à compléter la hauteur totale ($1^m,96$) du batardeau.

Une fois les poutrelles bien arrimées, on coulait en avant une toile à voile de 3 mètres de hauteur et de 12 mètres de largeur, munie sur son bord inférieur d'une chaîne servant de lest.

2° *Appareils d'épuisement.* — Le batardeau mis en place et étanché autant que possible par la toile, laissait encore passer un volume d'eau assez considérable, environ 3 à 4,000 litres par minute.

Les épuisements étaient effectués au moyen d'une pompe centrifuge, capable de débiter, placée dans des conditions normales, 6 à 7.000 litres.

Cette pompe, mise en mouvement par une locomobile de la force de 14 chevaux, était installée sur un bâtis en charpente convenablement lesté, placé dans l'angle S de l'enclave de la porte ouest où il était à l'abri des navires.

La transmission du mouvement présentait quelques difficultés, en raison de l'impossibilité dans laquelle on se trouvait de laisser aucune saillie par rapport au bajoyer, lors du passage des navires au moment de la pleine mer.

On a été conduit à établir un arbre intermédiaire sur un chariot roulant en charpente qui était amené en place un peu avant la basse mer, et repoussé en arrière du bajoyer aussitôt la marée terminée.

La conduite en fonte servant à l'aspiration de l'eau était maintenue à demeure ; masquée par la saillie du haut radier curviligne de l'écluse, elle était à l'abri des navires.

Bien que la crépine ait été réduite au strict nécessaire, il était impossible, sans puisard (et on ne pouvait songer à en creuser un dans le radier, dont la solidité est fort douteuse), de baisser le plan d'eau au delà d'une hauteur d'une trentaine de centimètres. Aussi pour arriver à un asséchement complet a-t-on dû limiter le périmètre dans lequel on devait travailler, par un petit batardeau fixe de $0^{m},50$ de hauteur.

Afin de retarder le moment où la mer montante venait suspendre le travail, un autre petit batardeau, de $0^{m},40$ de hauteur, était placé sur la partie curviligne du haut radier, lors des vives eaux; il ne pouvait à ce moment gêner la navigation.

3° *Mise en place du batardeau.* — Le batardeau mobile était mis en place environ une heure avant la basse mer en grande vive eau, et une demi-heure avant ce moment, lors des vives eaux moyennes.

Les eaux provenant des fuites du bassin Bérigny, traversaient le bassin Duquesne en suivant la cunette qu'elles s'étaient creusée dans la vase; leur niveau était à la cote $2^{m},50$ au droit de l'écluse. Les poutrelles étaient filées successivement par deux équipes tenant une amarre sur chaque rive et assujetties en place à coups de masse. Le niveau, qui se relevait immédiatement de toute la pente existant entre l'écluse Duquesne et l'écluse Bérigny, atteignait après l'opération la cote $2^{m},65$. La toile était alors coulée devant les poutrelles et l'on commençait les épuise-

ments; aussitôt les eaux descendues en arrière du batardeau principal au niveau du petit batardeau qui entourait l'emplacement des travaux, tous les ouvriers du chantier mettaient cet emplacement à sec au moyen d'écopes.

La mise en place des poutrelles et de la toile exigeait suivant que l'on opérait de jour ou de nuit, 15 à 20 minutes, l'épuisement 10 minutes; au bout de 25 à 30 minutes, le travail de réparation pouvait commencer. La pompe centrifuge continuait à enlever les eaux provenant des fuites du batardeau principal; un homme, deux au plus, suffisaient, avec des écopes, pour tenir à sec le périmètre limité par le petit batardeau.

Le travail effectif durait une heure par les petites vives eaux, deux heures, lors des grandes marées, en moyenne 1^h 1/2. A la fin de l'opération, la mer montante venait élever peu à peu le niveau en aval; quand ce niveau avait atteint celui d'amont, la toile était enlevée sans la moindre difficulté; les poutrelles mobiles se trouvaient ensuite tout naturellement poussées par le flot dans le bassin où elles étaient amarrées jusqu'à leur nouvelle mise en place à la basse mer suivante.

4° *Réparation du radier.* — Maintenant que le mode d'installation du chantier a été expliqué, nous allons dire quelques mots de l'état dans lequel nous avons trouvé le busc de l'écluse Duquesne et des réparations qui y ont été effectuées.

Les pièces de chêne formant heurtoir étaient presque détruites par les vers marins. Plusieurs des boulons de scellement qui fixaient ces pièces aux maçonneries étaient enlevés; le radier lui-même, formé par une pierre tendre, avait été usé par le passage de l'eau, sur une dizaine de centimètres environ d'épaisseur dans l'axe de l'écluse; la courbe circulaire primitive se trouvait complètement déformée par suite de cette usure. La pointe du busc était

fortement dégradée; la pierre avait disparu sur toute la hauteur de la feuillure. Cet effet, surprenant au premier abord, s'explique quand l'on considère la vitesse énorme avec laquelle l'eau, sous une charge de 5 à 8 mètres, s'échappait et ravinait le radier depuis plusieurs années; si l'eau tombant goutte à goutte finit par user la pierre la plus dure, un volume de 2 à 3.000 litres, passant chaque jour pendant plusieurs heures, avec une vitesse de plus de dix mètres par seconde, sur une pierre calcaire d'une nature tendre, doit nécessairement produire de sérieuses dégradations, alors surtout que l'écoulement s'opère toujours au même point, dans la partie la plus creuse d'un radier curviligne. Les chaînes de manœuvre des portes avaient aussi tracé des saillies très profondes; nous ne les indiquons que pour mémoire, et nous passons sur quelques autres dégradations faciles à réparer.

Le remplacement du heurtoir en chêne ne présentait aucune difficulté sérieuse.

La seule réparation vraiment délicate était celle de la pointe du busc. Indépendamment de la pression considérable que cette partie du radier a à supporter, elle doit subir aussi des chocs extrêmement violents lors de la fermeture des portes, soit que cette opération ait lieu un peu tardivement, et que les vantaux soient brusquement entraînés par le jusant, soit qu'au moment de la fermeture il se produise dans l'avant-port un ressac qui fasse battre pendant quelques moments les portes contre le heurtoir.

La détérioration s'étendant sur $2^{m},70$ environ de longueur totale et $0^{m},65$ de largeur dans le sens de l'axe de l'écluse, il eût été bon de remplacer la pierre détruite par un fort bloc de granit d'une seule pièce, capable de résister à des chocs violents. Ignorant dans quel état nous trouverions le heurtoir, nous n'avions pu faire approvisionner un pareil bloc et il était impossible de songer à se le procurer dans un bref délai.

Nous avons dû employer un morceau de chêne restant d'une énorme pièce dans laquelle avait été pris un poteau tourillon de l'une des portes ; ce morceau équarrissant $2^m70 \times 0^m,65 \times 0^m,40$ avant l'ajustage, a été mailleté sur toutes ses faces, posé sur un bain de mortier de ciment pur et fixé aux maçonneries par six boulons verticaux et trois étriers ; en outre, ses faces latérales, ainsi que les joints des pierres contiguës, ont été taillés de manière à permettre l'introduction de coins en fer disposés de telle sorte que la pièce en chêne ne puisse se soulever, sans entraîner avec elle les pièces voisines.

Nous n'insisterons pas davantage sur les détails de la réparation. Signalons seulement l'emploi d'un rail ployé suivant la forme du radier, posé de champ en aval de la pointe du busc et maintenu par des boulons verticaux et un encastrement dans la pierre à chaque extrémité. L'établissement de ce rail a eu un double objet : — empêcher l'usure du radier par le frottement des chaînes ; — protéger contre le choc des navires fortement chargés, qui talonnent quelquefois lors des mortes-eaux, la pointe du busc nouvellement réparée.

5° *Dépenses.*— Les travaux ont été exécutés en régie. Les dépenses se sont élevées en totalité à 18.000 fr. environ.

L'exécution n'a pas exigé moins de 120 marées dont 70 pour la mise en place et l'enlèvement des installations de toute nature, et 50 pour le travail de réparation proprement dit.

Bien que le mouvement maritime du port de Dieppe ait été considérable pendant la durée des travaux (le nombre des navires qui ont passé par l'écluse du 15 novembre au 15 janvier a été de 356, dont 200 steamers, jaugeant en totalité 111.700 tonneaux), *aucun navire* n'a été retardé par eux pendant *une seule marée*, et il n'y a pas eu un seul accident à déplorer.

Ce résultat permet de considérer sans trop de regrets le chiffre élevé des dépenses, comparé au travail effectif exécuté ; ces dépenses paraîtraient d'ailleurs très faibles si on les rapprochait des pertes qu'eût occasionnées pour le commerce local, le chômage des bassins, n'eût-il duré qu'un mois, alors surtout que pendant un hiver des plus rigoureux, Dieppe occupait le premier rang parmi les ports de l'Ouest, pour l'arrivage des houilles anglaises.

Dieppe, le 23 juin 1879.

N° 39

TABLEAUX GRAPHIQUES POUR LE CALCUL DES RESSORTS

Par M. LÉVY-LAMBERT,
Élève externe à l'École des ponts et chaussées.

Le calcul des ressorts, au moyen des formules établies par M. Philipps, ingénieur des mines, exige un certain nombre de tâtonnements de la part du constructeur. Il paraît donc utile et commode d'appliquer à ces calculs les méthodes d'anamorphose créées par M. Léon Lalanne, Inspecteur général des ponts et chaussées et directeur de l'École.

La flexibilité d'un ressort composé de feuilles d'égale épaisseur sous un poids Q appliqué à chaque extrémité est donnée par la formule

$$v = \frac{QL^2 l}{2M}. \qquad (1)$$

L demi-longueur de la maîtresse feuille,

l longueur de l'étagement,

M moment d'élasticité d'une des feuilles.

Sous cette charge 2Q, il se produit au milieu du ressort un allongement

$$\alpha = \frac{eQl}{2Mn}. \qquad (2)$$

e épaisseur d'une feuille,

n nombre des feuilles.

Généralement, on essaye les ressorts en leur faisant prendre une certaine flèche correspondant à un allongement

$\alpha = 0{,}005$; cherchons quelle doit être la perte de flèche pour $\alpha = 0{,}005$, en fonction de la longueur du ressort et des dimensions des feuilles.

Divisons membre à membre (1) et (2), il vient

$$\frac{v}{\alpha} = \mathrm{L}l \times \frac{n}{e} = \frac{\mathrm{L}ln}{e}.$$

Mais l'étagement $l = \frac{\mathrm{L}}{n}$,

d'où $$\frac{v}{\alpha} = \frac{\mathrm{L}^2}{e}, \quad \text{et} \quad v = \frac{\alpha \mathrm{L}^2}{e}. \qquad (3)$$

Si $\alpha = 0{,}005$, $v = \frac{\mathrm{L}^2}{200\,e}$.

Cherchons la charge supportée par le ressort soumis à cet allongement α donné.

Soit f la flexibilité du ressort par 1.000 kilogrammes. En vertu de (1) on a

$$f = \frac{500\,\mathrm{L}^2 l}{2\mathrm{M}},$$

remplaçant l par $\frac{\mathrm{L}}{n}$, il vient

$$f = \frac{500\,\mathrm{L}^3}{2\mathrm{M}n},$$

Prenons l'équation (2)

$$\alpha = \frac{e\mathrm{QL}}{2\mathrm{M}n},$$

et divisons la seconde équation par la première, il viendra

$$\frac{\alpha}{f} = e\mathrm{Q} \times 500\,\mathrm{L}^2 = \frac{e\mathrm{Q}}{500\,\mathrm{L}^2},$$

d'où $$\mathrm{Q} = \frac{500\,\alpha \mathrm{L}^2}{ef}, \quad \text{et} \quad 2\mathrm{Q} = \frac{1000\,\alpha \mathrm{L}^2}{ef},$$

pour $\alpha = 0{,}005$, $$2\mathrm{Q} = \frac{1000\,\mathrm{L}^2}{200\,ef} = \frac{5\mathrm{L}^2}{ef}. \qquad (4)$$

Supposons maintenant qu'avec des feuilles d'acier de dimensions déterminées, on veuille faire un ressort de longueur donnée et ayant une flexibilité donnée.

La formule (4) donne la charge supportée par le ressort pour un allongement $\alpha = 0{,}005$.

Le nombre de feuilles dont se compose le ressort est fourni par la formule $f = \frac{500\,L^3}{2Mn}$, qui donne

$$n = \frac{500\,L^3}{2Mf}. \tag{5}$$

Si, étant parti d'une dimension donnée de feuilles, la charge correspondant à l'allongement $\alpha = 0{,}005$ est trop faible, il faut changer ces dimensions ou prendre une autre longueur, en somme, avoir recours à une série de tâtonnements plus ou moins longs et toujours fastidieux.

Les tableaux suivants ont pour but d'éviter ces tâtonnements.

Les quantités e et f étant des constantes, l'équation (4) est de la forme $y = Ax^2$,

$$A \text{ étant } = \frac{5}{ef}.$$

Si pour chaque épaisseur de feuille (0,005 — 0,015) on construisait des paraboles en prenant pour abscisses les demi-longueurs, les ordonnées représenteraient les charges 2Q. La construction de ces paraboles présenterait de nombreux inconvénients ; l'anamorphose fournit une solution plus simple, plus élégante, et surtout plus pratique.

Reprenons l'équation $y = Ax^2$, et prenons les logarithmes des deux membres $\log(y) = \log(A) + 2\log(x)$, posons $\log(y) = y'$, $\log(x) = x'$, $\log(A) = A'$, l'équation devient $y' = A + 2x'$.

Pour chaque épaisseur de feuille il suffira de calculer une seule valeur de 2Q, pour une longueur déterminée;

une droite me donnera les valeurs de 2Q correspondantes à une autre longueur quelconque.

De même la formule

$$n = \frac{250\,L^3}{Mf}, \qquad (5)$$

de la forme $y = Ax^3$, se ramène à une droite $y = B + 3x$, inclinée à 3 pour 1.

Enfin la perte de flèche d'essai de $0,005\ v = \frac{L^2}{200\,e}$ est donnée par une parabole dont l'anamorphose fournit une droite inclinée à 2 pour 1.

Construction des tableaux.

Les longueurs de ressort varient de 0,50 à 2,50. L'échelle des ordonnées est cinq fois plus petite que celle des abcisses, ces dernières variant de 0,50 à 2,50, tandis que les premières vont de 1 à 300.

Les flexibilités peuvent être exprimées en centimètres ou en millimètres, car cela produit dans les résultats un simple déplacement de la virgule.

Le tableau ci-joint, Pl. 20, *fig.* 5, est ainsi construit ; il est applicable aux feuilles de 10/90.

Pour une longueur de ressort déterminée, et une flexibilité donnée, on trouve sur l'abcisse correspondant à la longueur donnée, à la rencontre avec chacune des droites cotées $f =$ la flexibilité donnée ; on trouve le nombre de feuilles dont se composera le ressort, la charge qu'il supportera sous un allongement $\alpha = 0,005$, la perte de flèche correspondante.

Les abcisses représentent les longueurs des maîtresses feuilles.

Les ordonnées représentent pour les charges des tonnes, pour le nombre de feuilles des unités et pour les pertes de flèche des centimètres.

La flexibilité étant exprimée en centimètres.

Les flexibilités varient de 0,005 à 0,0012; pour chaque flexibilité il y a deux droites : l'une inclinée à $\frac{3}{5}$ donnant le nombre de feuilles, l'autre à $\frac{2}{5}$ donnant les charges. Enfin une droite inclinée à $\frac{2}{5}$, indépendante de la flexibilité, donne les pertes de flèche à l'essai de 0,005. Ici cette droite se confond avec la droite des charges cotée 10.

Deuxième série de tableaux.

Cette série de tableaux répond à un problème plus général.

Étant données : la charge que doit supporter le ressort sous un allongement déterminé, la flexibilité que doit avoir le ressort, sa longueur; calculer l'épaisseur des feuilles en se fixant d'avance une largeur $= a$ (0,075 ou 0,090), et le nombre de ces feuilles.

Les données sont $2Q$, L, f, a,

Les inconnues e, n.

On a
$$2Q = \frac{5L^2}{ef},$$

d'où
$$e = \frac{5L^2}{2Qf}. \tag{6}$$

Cherchons le nombre des feuilles.

J'ai
$$n = \frac{250\,L^3}{Mf}. \tag{5}$$

remplaçant M par sa valeur $\frac{Eae^3}{12}$, E étant le coefficient d'élasticité de l'acier, il vient :

$$n = \frac{250\,L^3}{f} \times \frac{12}{Eae^3}, \tag{7}$$

or (6) donne
$$e = \frac{5L^2}{2Qf}.$$

d'où
$$e^3 = \frac{125\,L^6}{(2Q)^3 f^3}. \tag{8}$$

divisant membre à membre (7) par (8), il vient :

$$\frac{n}{e^3} = \frac{250\,L^3}{f} \times \frac{12}{Eae^3} \times \frac{(2Q)^3 f^3}{125\,L^6},$$

ou

$$n = \frac{24\,f^2\,(2Q)^3}{EaL^3}. \tag{9}$$

Supposons a et f données, nous pourrons par les équations (6) et (7) avoir une série de valeurs de e et de n pour une série de valeurs de $2Q$ et L.

Ces équations sont de la forme

$$y = Ax^2, \quad y = \frac{B}{x^3},$$

elles deviennent, en prenant les logarithmes

$$y' = A' + 2x', \quad y' = B' - 3x'.$$

Ces droites représenteront, par leurs ordonnées, les épaisseurs et les nombres de feuilles, les longueurs étant portées en abcisses.

Il faudra construire autant de tableaux que de flexibilités; ces flexibilités varient de 0,005 à 0,01 et de 0,05 à 0,10. Remarquons qu'un même tableau sert pour ces flexibilités de 0,005 et 0,05 par un simple déplacement de la virgule dans les résultats [équations (6) et (7)].

La question sera donc résolue par un petit nombre de tableaux.

Ces nouveaux tableaux sont à la même échelle que les premiers, Pl. 20, *fig.* 6.

Les droites inclinées à $\frac{2}{5}$ et cotées de 4 à 25 indiquent les épaisseurs des feuilles pour une longueur (abcisse) et une charge données; les charges ont été supposées varier de 4 à 25 tonnes.

Les abcisses représentent les longueurs des maîtresses feuilles.

Les ordonnées représentent pour les nombres de feuilles des dixièmes, épaisseurs des millimètres.

Les flexibilités étant en centimètres.

Cette méthode d'anamorphose s'applique également au calcul des ressorts en spirale usités pour les soupapes de sûreté (soupapes Ramsbotton).

Nous réservons pour une autre communication la transformation des formules et la construction des tableaux.

CHRONIQUE.

Juillet 1880.

N° 40

NOTE SUR LA RECHERCHE DES DÉPENSES D'EAU PAR INFILTRATION ET IMBIBITION DANS UN CANAL après un changement de sa section mouillée.

Par M. Richard BLOCH, Ingénieur des ponts et chaussées.

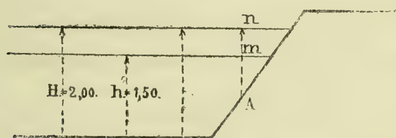
La section actuelle de la cuvette au-dessous du plan d'eau, est, pour le canal de Berry, un trapèze ayant 5 mètres de largeur au plafond, 1m,50 de hauteur, les talus étant réglés avec une inclinaison de 3 de base pour 2 de hauteur. La loi de classement des voies navigables ayant prescrit l'élargissement du canal et la surélévation du plan d'eau, un avant-projet a été mis à l'étude comportant le remaniement des ouvrages et la modification de la section suivant le type adopté pour les canaux de 1re classe, soit avec 10 mètres de largeur au plafond et 2 mètres de hauteur d'eau.

Les ressources alimentaires du canal étant assez justement suffisantes pour son profil actuel, la création de nouvelles ressources est nécessaire, puisque les dépenses d'eau du canal agrandi seront certainement plus considérables que celles qu'il subit aujourd'hui. Nous avons été chargé de l'étude de ces nouveaux besoins, étude indispensable pour l'appréciation des installations complémentaires à créer pour l'alimentation, et une formule au moins approximative nous ayant paru nécessaire pour déterminer, d'après les éléments actuels qui sont connus, les pertes ultérieures du

canal à grande section, nous avons imaginé une théorie qui, sans être rigoureuse, est au moins, pensons-nous, suffisamment approchée dans l'espèce. Nous croyons pouvoir présenter nos calculs tels qu'il ont été produits dans le rapport à l'appui de l'avant-projet des travaux à exécuter.

Si nous considérons les pertes par infiltrations et imbibition qui forment la plus grande part des dépenses d'eau d'un canal, on conçoit que les changements apportés dans le profil et la tenue d'eau amèneront des changements corrélatifs dans le régime des pertes. Les observations faites jusqu'ici, du moins celles qui sont connues, ne donnent que des renseignements tout à fait incomplets sur la relation qui doit exister entre les hauteurs d'eau et les pertes par infiltrations; il serait difficile d'ailleurs d'imaginer une expérience pratique capable de donner la relation avec le développement de la section mouillée pris comme variable. Mais on peut, avec quelque vraisemblance, expliquer par la théorie suivante les variations qui doivent se produire à la suite de ces modifications.

1° *Accroissement des pertes pour les parties conservées du profil ancien.* — Considérons par exemple, dans les deux hypothèses, un même orifice de fuite A, placé par conséquent au-dessous du plan d'eau inférieur; la vitesse de l'eau traversant cet orifice est certainement fonction de la charge, et on peut l'exprimer par la formule suivante :



$$Q = p\sqrt{2g\,(\mathrm{A}m)};$$

p étant un coefficient dépendant de la nature de l'orifice et de ses prolongements dans le massif des digues. Le débit est alors :

$$q = p.s.\sqrt{2g\,(\mathrm{A}m)};$$

s étant la section de cet orifice. — Avec la pression modifiée, on aurait :

$$q' = p.s.\sqrt{2g \times \mathrm{A}n};$$

p ne variant sans doute pas avec les faibles variations de h, et l'on a dès lors la relation

$$q' = q\sqrt{\frac{\mathrm{A}n}{\mathrm{A}m}} = q\sqrt{\frac{\mathrm{H}}{h}},$$

qui donne une première partie de la nouvelle expression cherchée, se rapportant seulement aux parties de l'ancien profil qui ont été conservées. Dans l'espèce présente (canal de Berry) $H = 2,00$, $h = 1,50$.

$$(1) \qquad q' = q \times \sqrt{\frac{2}{1,50}} = q \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,154\, q.$$

Si les hypothèses, d'ailleurs vraisemblables, que nous avons faites sont suffisamment exactes, la proportion qui vient d'être trouvée est constante, quelle que soit le développement de la partie du périmètre qu'on aura protégée par des étanchements, et nous croyons que la formule donne avec assez de précision le chiffre nouveau des pertes relatives aux parties conservées de l'ancien profil.

2° *Accroissement des pertes par augmentation du périmètre mouillé.* — Mais on peut évaluer aussi, avec quelque approximation, les déperditions par les parties nouvelles; il n'est pas déraisonnable, en effet, de considérer les parois de la cuvette comme des orifices d'écoulement, au travers desquels le débit serait gouverné par la loi générale de l'hydraulique, *à savoir que la vitesse moyenne de l'eau s'écoulant par un orifice est fonction de la charge hydrostatique sur le centre de gravité de cet orifice*, un coefficient intervenant d'ailleurs dans la formule pour y représenter la nature particulière de la paroi supposée homogène.

Pour une portion *de talus*, par exemple, allant du fond jusqu'à la ligne d'eau, avec une hauteur verticale égale à H, le débit par mètre courant pourrait être écrit d'après les considérations qui précèdent.

$$K = mtH\sqrt{2g\frac{H}{2}},$$

m étant le coefficient dont nous avons parlé. Soit t, maintenant; le rapport mesurant l'inclinaison du talus, si Δf est l'accroissement donné à la largeur au plafond, Δh celui de la profondeur d'eau, qui de h devient $h + \Delta h = H$; les surfaces supplémentaires seront Δf, qui supportera la pression H tout entière, et $2t\Delta h$ qui supportera la pression $\frac{\Delta h}{2}$. Le débit supplémentaire afférent à ces parties nouvelles offertes à l'écoulement serait donné par la formule

$$\Delta_2 q = m\Delta f\sqrt{2gH} + 2mt\Delta h\sqrt{2g\frac{\Delta h}{2}}.$$

Le débit primitif étant

$$q. = mf.\sqrt{2gh} + 2.m.t.h.\sqrt{2g\frac{h}{2}},$$

le rapport $\frac{\Delta_2 q}{q}$ à la valeur

$$\frac{\Delta f\sqrt{H} + 2.\Delta h.t.\sqrt{\frac{\Delta h}{2}}}{f\sqrt{h} + 2.t.h.\sqrt{\frac{h}{2}}}.$$

Dans le cas présent

$$f = 5^m,00, \quad t = 1,80, \quad h = 1,50,$$

$$\Delta f = 5^m,00, \quad t = 1,80, \quad \Delta h = 0,50.$$

(2) $$\text{et } \frac{\Delta_2 q}{q} = 0,738, \quad \Delta_2 q = 0,738.q.$$

Formule générale. — A l'accroissement ainsi calculé, il convient d'ajouter celui qu'on a précédemment trouvé, venant de la charge supplémentaire imposée aux parties conservées du profil ancien, et qu'on peut calculer comme il suit :

On a obtenu $$q' = q\sqrt{\frac{H}{h}},$$

$$q' - q = q\,\frac{\sqrt{H} - \sqrt{h}}{\sqrt{h}} = \Delta_1 q,$$

et dans le cas présent :

$$\Delta_1 q = q\,\frac{\sqrt{2} - \sqrt{1,5}}{\sqrt{1,5}} = 0,154.q.$$

La somme des deux accroissements donne :

(3) $$\Delta q = (0,738 + 0,154)\,q = 0,892\,q.$$

(4) $$Q = 1,892\,q,$$

Q représentant le débit total des pertes après l'élargissement et l'approfondissement.

A vrai dire, on a supposé dans ce qui précède que les deux talus et le fond de la cuvette étaient simultanément intéressés aux filtrations; mais cette hypothèse n'est que rarement vérifiée, et le

plus souvent, un des talus seul ou bien un talus avec le fond est principalement mis en jeu; on voit, dans ce cas, que le deuxième terme de la formule ne change pas, mais le coefficient (2) prend les valeurs :

0,889 pour un talus et le fond intéressés aux filtrations,

0,192 pour un talus seulement,

et les relations correspondantes entre Q' et q sont :

$$Q' = 2{,}043 \, . q,$$

$$Q' = 1{,}346 \, . q.$$

Bourges, le 20 mai 1880.

N° 41

Bateau-vanne du Danube. — Dans la séance de la Société des ingénieurs civils du 2 avril 1880, M. le baron Engerth, dont le nom et les travaux sont bien connus de tous les ingénieurs français, a fait une intéressante communication sur la régularisation du Danube aux environs de Vienne. Il s'est étendu assez longuement sur les principes de construction et le fonctionnement d'un bateau-porte dont nous croyons devoir signaler sommairement le but et le mode d'emploi.

Afin d'assurer dans les environs de Vienne une profondeur de tirant d'eau suffisante en tout temps, on a, comme on le sait, creusé presque parallèlement au lit du fleuve un canal alimenté par les eaux de ce dernier; indépendamment de son rôle spécial pour la navigation, cette nouvelle voie a aussi pour but de faire disparaître les inondations dans la ville de Vienne, et de prévenir les effets désastreux des débâcles.

La réalisation de ce projet comportait l'emploi d'un barrage mobile placé en tête du canal et devant s'opposer à l'invasion des glaces, tout en laissant circuler l'eau nécessaire aux besoins de ce canal. Les écluses et barrages ordinaires ne pouvant remplir ce double but, M. Engerth a eu l'idée de recourir à une porte flottante sous laquelle l'eau pût passer librement, mais qui arrêtât les glaçons à la surface.

En outre, comme il est important en grandes eaux de pouvoir abaisser le niveau de l'eau dans le canal, ses rives étant plus basses que celles du Danube, la porte en question doit pouvoir agir à la manière d'une vanne pour modérer l'entrée de l'eau d'alimentation et provoquer un abaissement du plan d'eau de $0^m,60$ à 1 mètre. Elle doit donc remplir cette double condition d'être très robuste pour pouvoir résister aux efforts des glaçons et de s'abaisser à volonté pour obtenir la dépression qu'on désire dans le canal.

En raison de la faible hauteur de l'eau (en basses eaux, les bateaux ne doivent pas avoir plus de $1^m,32$ de tirant d'eau) et de la grande largeur du canal (50 mètres) les conditions d'établissement sont tout autres que celles d'un bateau-porte de forme de radoub. De plus, pour éviter le plongement des glaces et leur passage sous l'appareil, on a dû renoncer à la forme des bateaux proprement dits et donner aux parois une direction verticale. En raison de ces diverses sujétions, la porte est construite à peu près sur le principe des ponts en fer; elle se compose de trois poutres métalliques également espacées et réunies entre elles de manière à constituer un tout bien rigide. Pour pouvoir la faire plonger plus ou moins, et à volonté, elle est partagée en cinq compartiments étanches, dont les cloisons contribuent à consolider la construction. Ces compartiments peuvent être remplis ou vidés isolément les uns des autres. A cet effet, la porte est munie à sa partie supérieure de machines à vapeur commandant des pompes centrifuges, des grues et tout ce qui est nécessaire pour la manœuvre. Quand elle est mise en place, elle s'appuie par le moyen de glissières en chêne, d'une part sur le quai qui est construit en granit, d'autre part sur une porte mobile, dite *porte d'appui*, qui est elle-même arc-boutée par une autre porte métallique, dite *de résistance;* cette dernière reporte la pression sur la maçonnerie du quai. En dégageant la porte de résistance, la porte d'appui cède elle-même et la porte flottante s'ouvre en dérivant vers l'aval.

Tout ce système est installé à 160 mètres en aval de la tête du canal, afin d'éviter à la porte le choc direct de la glace, en profitant de l'amortissement qui se produit sur la masse déjà accumulée. Pour la mise en place, la porte se manœuvre à l'aide de chaînes qui s'enroulent sur des poteaux d'amarrage. Le courant toujours assez fort en hiver tend à la faire descendre vers l'aval, les chaînes régularisent ce mouvement et permettent d'amener assez facilement le système dans la position qu'il doit occuper.

Pour empêcher la porte de descendre trop bas, quand il y a dé-

pression en aval, elle est reliée à quatre jambes d'appui, manœuvrées au moyen de vis, qui viennent s'appuyer sur de petits piliers en fonte reposant sur le radier. Enfin comme il est à craindre que des glaçons isolés ne puissent accidentellement passer par dessous, elle est munie à sa partie inférieure d'aiguilles d'acier, appuyées d'une part sur le système métallique et d'autre part sur le radier qui existe en dessous de ce passage.

La porte flottante fonctionne depuis 1875; mais c'est surtout en 1879 qu'on a pu apprécier son efficacité. Non seulement elle a résisté à l'action de la poussée de glaces comme on n'en avait pas vu depuis près de cent ans, mais au moment de la débâcle, elle a donné lieu à ce spectacle curieux d'un canal absolument libre, alors que le Danube qui coule à côté était complètement rempli de glaçons et qu'un amoncellement considérable s'était produit en amont de la porte. Afin de mieux faire comprendre cet intéressant ouvrage, nous aurions désiré en mettre au moins un croquis sous les yeux des lecteurs; mais il nous a été impossible de nous procurer les éléments nécessaires.

Quoiqu'il en soit, cet ouvrage seul donne une idée de l'importance des travaux exécutés sur le Danube. M. Engerth se propose de réunir tous les renseignements qui s'y rattachent, dans un grand travail d'ensemble qui sera accueilli, nous n'en doutons pas, avec le plus vif empressement par tous les ingénieurs qui s'occupent de travaux de navigation.

Nouveau siphon établi sur le canal Saint-Martin. — Quand on construit les égouts d'une ville, on se trouve quelquefois obligé de faire passer un branchement d'une rive à l'autre d'un cours d'eau. Le problème a été résolu de la manière la plus heureuse par M. Belgrand au moyen d'un siphon noyé, comme celui qu'on trouve auprès du pont de l'Alma. Mais en raison de sa situation même, la conduite est exposée à s'engorger facilement par les matières qu'entraînent les eaux et des nettoyages fréquents sont impérieusement commandés. On sait qu'ils s'exécutent facilement au moyen de la sphère imaginée par M. Belgrand. Mais les visites et réparations sont fort difficiles et par suite assez coûteuses.

Aussi a-t-on tout naturellement été conduit à se demander s'il ne serait pas possible d'adopter la solution inverse et de faire passer les eaux *au-dessus* de la rivière et non plus *au-dessous*, comme dans le cas précédent. Il faut évidemment un concours de circonstances spéciales et de dispositions nouvelles pour que le problème puisse être pratiquement résolu. Tout d'abord, il est né-

cessaire d'avoir une certaine charge à l'amont pour que le siphonnement soit possible; il faut de plus que l'amorçage puisse se faire facilement et d'une manière pour ainsi dire permanente, afin de débarrasser la conduite des gaz que la diminution de pression au point le plus élevé ne manquerait pas d'y accumuler et qui interrompraient forcément l'écoulement.

Toutes ces difficultés ont été surmontées de la manière la plus heureuse par M. Maurice Lévy dans l'établissement du siphon qu'il a installé *par-dessus* le canal Saint-Martin, pour amener les eaux des égouts de Bercy dans le collecteur destiné à les recevoir et qui est situé de l'autre côté du canal. Suivant le conseil de M. Cornu, membre de l'Institut et professeur à l'École Polytechnique, c'est au moyen de trompes que l'amorçage et le fonctionnement du siphon sont assurés d'une manière permanente.

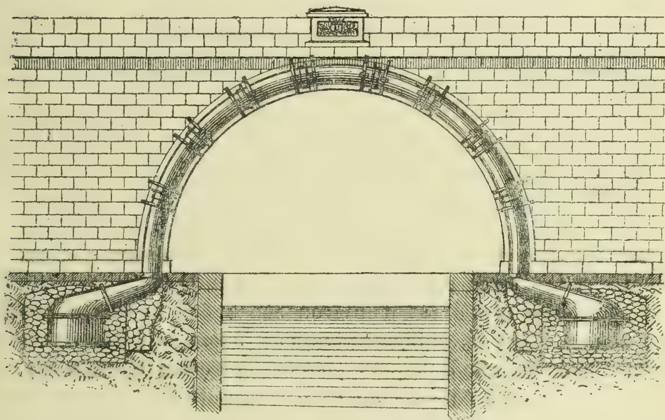
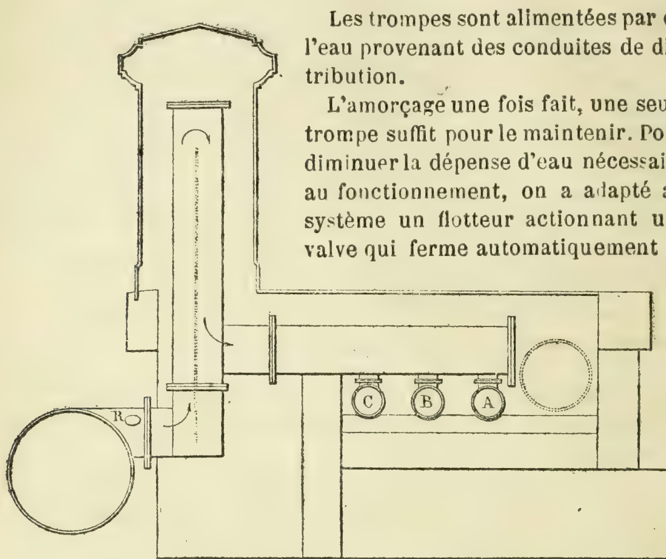


FIG. 1. — **Élévation du siphon.**

Le siphon, qui a 8 mètres de flèche pour ne pas gêner la batellerie, est fixé solidement contre le bandeau du pont de l'Arsenal, dont il épouse la forme. Les trompes placées au sommet de la courbe qu'il affecte sont au nombre de trois. Des expériences préalables, exécutées avec le plus grand soin, avaient montré que ces trompes fonctionnant ensemble pouvaient évacuer les gaz que dégagerait le passage de 2 mètres cubes d'eau par seconde dans un siphon exactement semblable à celui qui a été définitivement établi. On avait constaté aussi que l'amorçage s'effectuait en 6 minutes environ.

Fig. 2. — Coupe au sommet, montrant la position des trompes et de la cheminée d'appel.



Les trompes sont alimentées par de l'eau provenant des conduites de distribution.

L'amorçage une fois fait, une seule trompe suffit pour le maintenir. Pour diminuer la dépense d'eau nécessaire au fonctionnement, on a adapté au système un flotteur actionnant une valve qui ferme automatiquement la conduite de prise d'eau quand le siphon est amorcé, et qui au contraire la rouvre quand il tend à se désamorcer.

La dépense d'eau est d'environ 300 à 350 mètres cubes par 24 heures. C'est un chiffre insignifiant comparé à ce que coûteraient le combustible, le personnel et l'entretien de machines élévatoires, s'il avait fallu recourir à cette solution.

Il y avait toutefois à craindre que les eaux d'égout ne remontassent accidentellement dans les trompes par suite de l'aspiration produite et ne vinssent les engorger. Pour éviter cet inconvénient, le siphon est surmonté d'une cheminée qui s'élève à 10^{m},50 en contre-haut du niveau des égouts. Les trompes donnent leur aspiration à la partie supérieure, et l'on voit facilement que, dans aucun cas, les eaux ne peuvent être élevées à cette hauteur. Les siphons fonctionnent régulièrement depuis le 10 mars dernier et d'une manière parfaitement satisfaisante, sans que rien d'imprévu se soit produit.

Dans les grandes averses, les trompes deviennent inutiles. Les siphons débitant alors de 1^{mc},200 à 1^{mc},500 par seconde et la vitesse de l'eau est telle qu'elle entraîne avec elle tous les gaz qu'elle dé-

gage. Cette importante propriété avait été reconnue antérieurement par M. Fizeau.

Comme on le voit, ce système présente de grands avantages au point de vue des facilités d'installation, de visite et de réparations. Il ne peut évidemment fonctionner que quand on dispose à sa partie supérieure d'une certaine quantité d'eau sous charge pour alimenter les trompes; mais c'est presque toujours le cas dans les villes où le système d'égouts est suffisamment étendu et perfectionné.

L'emploi des trompes dans la circonstance actuelle est une idée neuve et c'est à ce titre que nous avons cru devoir signaler aux ingénieurs le dispositif du pont de l'Arsenal.

Les détails et figures qui précèdent sont extraits d'une lecture faite par M. Maurice Lévy à l'Académie des sciences, dans sa séance du 10 mai dernier.

Chemins de fer de l'Australie. — Les longueurs des différents réseaux de chemins de fer exploités dans les colonies australiennes en 1879, sont les suivantes :

	kilom.
Nouvelle-Galles du Sud	1.179,627m
Victoria	1.690,000
Australie du Sud	730,630
Queensland	688,787
Tasmanie	276,802
Australie occidentale	77,247
	4.643,093

En y ajoutant 1.752k,544 ouverts autrefois dans la Nouvelle-Zélande, on trouve que l'étendue totale des lignes en exploitation est de 6.395k,637.

En 1879, le parcours total effectué par les trains dans la Nouvelle-Galles du Sud s'est élevé à 4.273.014 kilomètres, et dans la province de Victoria à 4.981.234 kilomètres. Le produit net en 1879 a été de 9.150.000 francs pour la première province et de 14.774.400 francs pour la seconde. Le capital dépensé monte à 244.611.625 fr., pour la Nouvelle Galles du Sud et à 383.581.000 fr. pour la province de Victoria. Le produit net par rapport au capital employé est à peu près le même pour les deux provinces ; il est un peu inférieur à 4 p. 100.

Les chemins de fer de l'État en Belgique.—Les chiffres suivants font connaître la dépense faite pour les chemins de fer de l'État, en Belgique, et leur situation financière à la fin de 1878.

	CAPITAL actuellement dépensé.	MONTANT des annuités à payer.	DÉPENSE totale.
Chemins directement construits par l'Etat.	fr. 298.675.000	. . . .	fr. 347.990.000
Chemins construits par entreprise pour l'Etat.	49 315.000		
Chemins rachetés par l'Etat.	94.257.500	fr. 306.200.000	400.457.500
Matériel roulant et autre.	153.550.000	13.000.000	166.550.000
Achèvement des chemins exploités par l'Etat.	25.997.500	»	25 997.500
Totaux.	621.795.000	319.200.000	940.995.000

Les recettes totales de l'année 1878 montaient à 95.500.650 fr. Les dépenses d'exploitation ont été de 60.520.425 francs; les intérêts et autres charges s'élevaient à 38.322.825 francs. La campagne se solde donc par un déficit de 3.342.700 fr. (Extrait de l'*Engineering.*)

Canal maritime de Gand à Terneuse. — Une convention est intervenue vers la fin de l'année dernière entre la Belgique et la Hollande au sujet du canal maritime de Terneuse à Gand et du rachat du chemin de fer d'Anvers à Moerdyk avec l'embranchement de Roosendaal à Bréda. Le canal qui se trouve, partie en Belgique et partie en Hollande, débouche dans l'Escaut et relie ainsi Gand à la mer. Dans son état actuel, il est de dimensions restreintes et son tracé est très sinueux, de telle sorte qu'il ne peut être fréquenté que par de petits bateaux. Il s'agit de modifier son tracé et d'augmenter notablement ses dimensions. Il présentera une largeur au plafond de 17 mètres et une profondeu rde 6 mètres à $6^{m},80$ avec des talus à 3 pour 1. Il aura à la ligne d'eau une largeur d'environ 53 mètres, et sera pourvu d'un chemin de halage de $9^{m},75$. La dépense des travaux et des acquisitions de terrain sera supportée par le gouvernement belge. Des avances seront faites aux entrepreneurs par le gouvernement hollandais, en raison du travail exécuté en Hollande. Ces sommes seront remboursées par la Belgique, et l'entretien de cette portion du canal sera à la charge de la Hollande. O. C.

ERRATUM.

Cahier de juin, Chronique, p. 601, Marne, passes navigables munies de fermettes Poirée :

Au lieu de : **6**, *lire* **1**.

N° 42

DESCRIPTION

DU

TRAMWAY DE LA RUE CALIFORNIA A SAN-FRANCISCO

Par M. P. HUERNE, Architecte.

Description générale. — Le système employé pour le tramway de la rue California est composé d'un câble en fil d'acier passant dans une tranchée pratiquée sous la voie, allant d'un côté et revenant de l'autre, d'un mouvement continu produit par une machine à vapeur, et d'un remorqueur (dummy), muni d'un grappin (gripp) qui pince le câble pour être entraîné par lui et le lâche pour faire cesser le mouvement.

Une voiture (car) est attachée au dummy et forme le train.

Voie. — La voie ferrée a son origine sur l'alignement extérieur de la rue Kearney et aboutit en un même point dans la rue Fillmore, elle a ainsi une longueur développée d'environ 2.700 mètres.

Dans une position symétrique, occupant le centre de la rue, sont construites les deux voies, une pour l'aller et l'autre pour le retour.

La largeur de la voie est de $1^m,06$ à partir de l'arête extérieure du rail : 0,50 de cette même arête à l'axe de la fente d'un côté et 0,36 de l'autre.

Tranchée. — La tranchée (petit tunnel) a 0,55 de profondeur et règne sur toute la longueur de la voie pour le passage du câble; elle est formée de cadres en fer espacés

de $1^m,21$, noyés dans un mur en béton de 0,30 d'épaisseur. Ces cadres supportent les rails et ont été faits avec des rails rebutés.

Entre deux cadres consécutifs, l'espace est rempli par des plaques en tôle de $0^m,01$ d'épaisseur, sur lesquelles repose le pavage.

Câble (Pl. 21, *fig.* 9). — Pour diminuer la longueur du câble et réduire ainsi les trop grandes variations de longueur, les machines motrices sont établies vers le milieu du parcours; on a ainsi deux câbles complètement distincts, de $0^m,03$ de diamètre et composés de six torons de dix-sept fils d'acier chacun, de $0^m,002$ de diamètre.

A l'extrémité des deux câbles, dans Larkin-street, deux poulies de renvoi sont attachées à des chariots tendeurs roulant sur des rails établis avec une pente de $0^m,20$ par mètre.

Ce chariot peut être chargé à volonté suivant la nécessité d'augmenter la tension du câble; un petit mouvement, en arrière ou en avant, se fait sentir lorsque le gripp d'un train saisit ou lâche le câble.

Au point K est placée une planchette percée d'un trou à travers lequel passe le câble, avec un jeu sur le pourtour d'environ $0^m,03$. Cette planchette est maintenue au moyen de ressorts à boudin communiquant avec une sonnerie établie dans la machine, qui avertit le mécanicien, soit d'une rupture du câble, soit de trop fortes vibrations.

Chariots tendeurs avec contre-poids (Pl. 22, *fig.* 3). — Aux points de départ et d'arrivée, dans Kearney et Fillmore, des poulies de renvoi sont fixées à des chariots de tension sollicités par des contre-poids formés d'une cuve cylindrique pouvant être chargée à volonté.

Poulies-supports. — Des poulies-supports ou galets de $0^m,25$ de diamètre sont établies de 10 en 10 mètres environ dans la tranchée pour supporter le câble.

Profil en long (Pl. 22, *fig.* 1 et 5). — Dans les parties du

parcours présentant un profil convexe, telles que *a*, *b*, ces poulies ont $0^{m},80$ de diamètre.

Pl. 22, *fig.* 6. — Des ouvertures recouvertes par des tampons en fonte sont ménagées pour le graissage des poulies ou pour l'entrée dans la galerie.

Le câble est placé en retraite d'une des faces verticales de la fente d'environ $0^{m},01$.

Pl. 22, *fig.* 4. — Dans les parties concaves; aux croisements des rues, les poulies-supports sont en dessus du câble; le gripp, descendant plus bas que la tangente à ces poulies, abaisse le câble et passe en dessous.

Rails. — Les rails de la voie sont en acier, la forme particulière qu'on leur a donnée est motivée par la facilité qu'ont les voitures, avec cette forme, de quitter la voie à l'approche du train.

Gripp (Pl. 21, *fig.* 5). — Le gripp est composé d'une partie fixe FFF et d'une partie mobile MMM.

A la partie mobile est adapté un levier L, muni d'une tige T, attachée à la partie fixe.

L'effort produit par l'oscillation du levier amené en L′ se porte sur le point d'appui et détermine l'abaissement de toute la partie mobile de la quantité nécessaire pour produire le rapprochement des lèvres HH qui pincent le câble.

Avant que le câble soit complètement serré, il frotte contre les poulies PP, de sorte qu'il présente une légère courbure lorsqu'il est complètement étreint.

Les poulies PP ne sont mises en mouvement que dans les cas rares où le câble éprouve des vibrations dans le sens horizontal.

Le gripp étant posé sur deux goujons fixes peut être enlevé facilement pour réparation, en ôtant les clavettes VV.

Les lèvres HH sont formées d'une pièce rapportée, concave d'un côté et fixée au bâti par des écrous pour pouvoir être remplacées à volonté.

Le bâti inférieur du gripp est tout en fonte, à l'exception du support VV.

Machines motrices. — Deux machines motrices de la force de 250 chevaux chacune sont adaptées au même arbre moteur, de manière à pouvoir agir ensemble ou séparément; une seule de ces machines suffit, l'autre n'est mise en mouvement qu'en cas de réparation à la première.

Mode d'exploitation.

Le car reposant sur la plate-forme B est remorqué par le dummy; le conducteur, après avoir agité la sonnerie annonçant le départ, serre le gripp, et le câble entraîne le train avec une vitesse de 6 milles à l'heure, soit 9^k,655 mètres.

Le train s'arrête à volonté sur le parcours de la voie en desserrant le gripp et en faisant usage des freins, cependant il ne s'arrête généralement qu'aux croisements des rues transversales pour prendre et laisser des voyageurs.

Changement de câble (Pl. 22, *fig.* 2).— A son arrivée dans Parkin-street, où le train change de câble, le conducteur lâche le premier câble avant d'arriver à la courbe AB et le reprend après le point A. La descente se fait sur une légère pente ménagée entre les points B et A.

Le train fait de même sur la voie de retour, c'est-à-dire que le gripp lâche le câble avant d'arriver à la courbe CD et le reprend après le point D. Il en résulte la nécessité d'établir AB et CD dans des sens différents pour que le train puisse franchir les distances AB et CD avec sa propre impulsion.

Voie de garage à l'origine (Pl. 22, *fig.* 6). — Arrivé au point A, sur la voie de retour, le train s'arrête; le dummy est détaché du car, et, en faisant usage des freins, descend et vient stationner au point C. Le conducteur change l'aiguille N à la main et l'assujettit au moyen d'un taquet en

fer T; le car descend par la voie de garage G avec l'impulsion que donne la pente, impulsion réglée avec facilité au moyen des deux freins, et vient se placer au point de départ A; le dummy descend immédiatement, est attaché au car et le train est prêt pour un nouveau départ.

La même manœuvre a lieu dans Fillmore-street à l'arrivée.

La disposition des voies de garage, au départ, et à l'arrivée, a eu pour but d'éviter les plaques tournantes.

Intervalles entre les départs. — Les départs ont lieu à des intervalles de 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3, 5 et 7 minutes suivant les heures de la journée où les voyageurs sont plus ou moins abondants.

Quatorze trains sont quelquefois attachés aux câbles en même temps à l'aller et au retour; une partie se trouvant en pente et l'autre partie en rampe. Très souvent le train lâche le câble dans les pentes faibles et marche avec les freins pour augmenter la vitesse.

Nombre de voyageurs par jour. — Le nombre de voyageurs par jour peut être évalué à 5.000 en moyenne.

Le prix du trajet est de 5 cents, environ $0^f,25$.

Les trains commencent à marcher à six heures du matin et cessent à deux heures et demie du matin le lendemain.

Le maximum de pente dans tout le parcours est de 0,20 par mètre. Quoique cette pente soit forte, le car n'éprouve aucune difficulté pour l'arrêt avec les deux systèmes de freins, l'un serrant sur les quatre roues et l'autre frottant sur la voie avec toute la pesanteur du car ou du dummy.

Lorsque deux trains, allant et venant, se croisent, ils se saluent avec deux coups de sonnette.

La sonnette sert encore à signaler le passage du train aux personnes qui croisent la voie à la rencontre des rues transversales.

Un téléphone fait communiquer les deux extrémités de la voie avec le bureau du superintendant, dans Larkin-street.

Deux autres tramways fonctionnent à San-Francisco dans les rues Clay et Sutter (*). L'arrangement diffère quelque peu : celui de California-street est considéré comme le mieux établi.

Un autre tramway est en cours de construction entre Sutter et Macket-street dans la rue Larkin.

Sans aucun doute, on pourrait établir ce système dans les rues en angle. M. H. Eppelsheiner, l'ingénieur du tramway de la rue Clay, a pris dans ce but un grand nombre de brevets d'invention, même en France. Il résout le problème par la pose de poulies-guides placées de trois en trois pieds du côté du petit arc de la courbe de raccord. Ces poulies sont inclinées plus ou moins suivant le rayon de la courbe et le câble les quitte au passage du dummy au moyen d'un effet de bascule produit par le châssis du Gripp.

San-Francisco, 5 juillet 1878.

(*) Voir la Note publiée sur ces deux tramways, par M. Lavoinne, *Annales* 1877, 2e sem., p. 465.

N° 43

NOTE

SUR

LA CHARGE D'ÉCRASEMENT

DES

PIERRES DE CONSTRUCTION

Par M. DE PERRODIL, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

M. Michelot, ingénieur en chef du service des recherches statistiques sur les matériaux de construction, a fait connaître dans une suite de mémoires, dont les trois premiers ont été publiés dans les *Annales des Ponts et Chaussées* en 1863, 1868 et 1870, les résultats de ses études et expériences sur les pierres de construction du bassin de Paris et des départements de l'Est. Les tableaux numériques joints à ces mémoires indiquent les poids spécifiques et les charges d'écrasement d'un très grand nombre de pierres de nature très variée; et si la comparaison de ces chiffres ne permet pas de résoudre complètement le problème que M. Michelot posait en ces termes à la fin de son troisième mémoire : « Répartir les pierres de construction en un nombre limité « de nature ou de catégories pour chacune desquelles la « force portante sera exprimée en fonction du poids spé- « cifique au moyen d'une formule simple dont les con- « stantes auront été déterminées par l'expérience; » elle permet du moins d'en tirer quelques conséquences, que nous allons indiquer, qui contiennent une solution approximative de ce problème et que les écarts observés pour les diverses pierres expérimentées jusqu'à ce jour ne viennent jamais infirmer d'une manière sérieuse.

Pierres calcaires, non compris les marbres statuaires saccharoïdes.

Les pierres calcaires, dont les poids spécifiques sont indiqués dans la première colonne du tableau suivant, s'écrasent sous une charge par centimètre carré qui est inscrite en regard dans la deuxième colonne.

POIDS spécifiques.	CHARGES d'écrasement.
kilog.	kilog.
1.500	50
1.700	100
1.900	150
2.100	200
2.250	300
2.350	400
2.450	600
2.600	1.000
2.650	1.400
2.700	1.800

Si l'on marque sur un plan contenant deux axes rectangulaires les points ayant pour abscisses les nombres de la première colonne et pour ordonnées ceux de la seconde et que l'on réunisse ces points par une ligne continue, l'ordonnée d'un point quelconque de cette ligne représentera approximativement la charge d'écrasement de la pierre dont le poids spécifique sera représenté par l'abscisse du même point.

A Paris, où les pierres de construction sont classées en huit catégories suivant le temps que met un ouvrier tailleur de pierre (payé $6^{f},50$) à tailler un mètre carré de parement vu, les pierres qui s'écrasent sous des charges comprises entre 50 kilog. et 100 kilog. et dont la taille exige environ 2 heures quatre-vingts centièmes sont classées dans la huitième catégorie. La répartition des pierres dans les huit catégories est d'ailleurs indiquée par le tableau suivant :

LIMITE DES CHARGES d'écrasement des pierres d'une même catégorie.			TEMPS QU'EXIGE en moyenne la taille d'un mètre carré de parement vu.		DÉSIGNATION de la catégorie.
kilog.		kilog.	heures.	minutes.	catégories.
50	et	100	2	80	8e
100	et	150	3	80	7e
150	et	200	5	60	6e
200	et	300	8	30	5e
300	et	400	11	30	4e
400	et	600	14	00	2e
600	et	1.000	19	60	3e
1.000	et	1.800	22	50	1re

Les cinq premières catégories comprenant les pierres dures se scient à l'eau et au grès à l'aide de la scie sans dents, les trois dernières, comprenant les pierres tendres, se scient à la scie à dents.

Les marbres statuaires saccharoïdes ont en moyenne une charge d'écrasement de 600 kilog. et un poids spécifique de 2.700 kilog.

Grès.

Pour les grès, la résistance à l'écrasement est plus grande que pour les calcaires d'un même poids spécifique. Le tableau suivant fait connaître la charge d'écrasement correspondant à divers poids spécifiques de pierres de taille de grès compris entre 1.870 kilog. et 2.570 kilog.

POIDS spécifiques.	CHARGES d'écrasement.
kilog.	kilog.
1.870	150
1.950	200
2.050	300
2.100	400
2.200	600
2.300	700
2.570	900

On construira avec les données de ce tableau une courbe analogue à celle des calcaires.

Nous terminons cette note en résumant les résultats déjà

obtenus par M. Michelot et indiqués dans les divers mémoires, notamment dans celui de 1870 déjà mentionné, et celui de 1873 inséré dans le recueil des notices relatives aux objets exposés à Vienne par le Ministère des Travaux Publics de France.

Pour les roches éruptives, y compris les granits, nous ne possédons pas encore un nombre suffisant de résultats d'expérience pour pouvoir établir une loi empirique analogue aux précédentes. En ce qui concerne les granits, on peut considérer comme démontré jusqu'à présent que leur charge d'écrasement est d'autant plus grande que leur grain est plus fin. En outre les granits s'altèrent lentement à cause de la décomposition du feldspath par l'eau et leur charge d'écrasement diminue rapidement à mesure que cette décomposition augmente. De là résulte quatre catégories de granits, savoir : les granits inaltérés à grains fins et gros et les granits altérés subdivisés de même. Les granits inaltérés sont susceptibles de poli et par ce motif désignés par M. Michelot sous le nom de granits-marbres, les seconds étant désignés sous le nom de granits-pierres. Voici le tableau des charges d'écrasement de ces quatre catégories. Entre les deux limites qu'il indique, la charge d'écrasement varie sans doute avec le poids spécifique suivant une loi continue que nous nous proposons de rechercher ultérieurement.

NUMÉROS des catégories.	DÉSIGNATION DES CATÉGORIES.	LIMITES des charges d'écrasement.
1	Granits inaltérés à grains fins.	de 1.000 à 1.500
2	Granits inaltérés à gros grains.	de 700 à 1.000
3	Granits plus ou moins altérés à grains fins.	de 600 à 900
4	Granits plus ou moins altérés à gros grains.	de 400 à 600

Pour les porphyres, le poids spécifique est compris généralement entre 2.600 et 2.850 et la charge d'écrasement entre 1.000 et 1.300 kilog.

Citons enfin parmi les roches d'une grande résistance le basalte d'Esteil, commune d'Auzat-sur-Allier, canton de Jumeaux, arrondissement d'Issoire (Puy-de-Dôme), dont la charge d'écrasement est de 1.880 kilog. et le jaspe-brèche du Mont-Blanc dans le canton de Saint-Gervais, arrondissement de Bonneville (Haute-Savoie), pour lequel cette charge est 1.860 kilog. La densité de cette dernière pierre est de 2.700 kilog., comme celle des marbres statuair saccharoïdes.

Paris, le 21 juin 1880.

N° 44

LA COMMISSION DES CHEMINS DE FER EN ANGLETERRE.

2me ARTICLE.

Par M. G. CAVAIGNAC, Ingénieur des ponts et chaussées.

Dans une lettre adressée à M. le président de la commission des *Annales des Ponts et Chaussées* (*), M. de Franqueville répond à l'article publié par nous dans ce recueil et intitulé *Note sur les rapports de l'État avec les compagnies de chemin de fer en Angleterre.* Il y répond avec une vivacité qui n'a pas laissé que de nous surprendre. Nous serions tenté cependant de nous en féliciter, puisqu'elle semble attester l'intérêt du sujet que nous avions entrepris de traiter, si nous ne trouvions dans la lettre de M. de Franqueville le reproche d'inexactitude que nous n'avons pas mérité.

Nous aurons, pour nous en affranchir, à développer quelques-uns des points que la crainte des longueurs nous avait fait condenser sous la forme la plus concise; mais ces développements ne feront que confirmer les conclusions que nous avions tirées de notre étude, et le lecteur nous excusera si nous sommes obligé de nous étendre sur quelques parties de la discussion. Nous nous attacherons à suivre point par point la lettre de M. de Franqueville (**).

(*) L'État et les chemins de fer en Angleterre.
Lettre adressée à M. le Président de la commission des *Annales des ponts et chaussées*, Paris, A. Chaix et Cie, 1880.

(**) Tous les éléments de la discussion, tous les renseignements relatifs à la commission des chemins de fer sont extraits des six

I.

Il est peu de points dans notre note que M. de Franqueville ne conteste; il conteste jusqu'au résumé par lequel nous avions cru devoir débuter, et auquel il ne reproche, après tout, que d'être un résumé, renvoyant pour plus de détails, à l'ouvrage qu'il a publié lui-même sur le régime des travaux publics en Angleterre.

Résumant ensuite les attributions de la commission des chemins de fer, l'auteur de la lettre insiste sur les restrictions apportées aux pouvoirs de la commission. Nous avions nous-même signalé ces restrictions en indiquant les réflexions qu'elles avaient suggérées aux membres de la commission (pages 19 et 20 de notre Note (*)) en en tirant même les conclusions qu'elles nous avaient paru justifier.

L'auteur ne conteste d'ailleurs, dans cette première partie, nos assertions que sur un seul point : nous avions assuré que les facilités raisonnables que la commission pouvait exiger des compagnies comprenaient l'obligation de tarifs communs; M. de Franqueville tient à remplacer cette expression par celle de tarifs totaux, dont nous saisissons mal le sens. Voici la traduction littérale de l'article de la loi anglaise, extraite du livre de M. de Franqueville (t. III, p. 333).

« Sous le bénéfice des clauses suivantes, les facilités qu
« doivent être accordées par les compagnies comprendront
« la réception, expédition et remise due et raisonnable par
« toute compagnie de chemin de fer, compagnie de canal,
« et compagnie de chemin de fer et de canal, à la requête

---

rapports annuels de la commission (*Annual reports of the Railway Commissionners of their proceedings under the Regulation of Railways act* 1873), les lecteurs désireux de remonter aux sources pourront se les procurer chez l'éditeur Hansards, 13, Great Queen-Street, Lincolns Inn fields Londres.

(*) *Annales* 1879, 2e sem., p. 125.

« de toute autre compagnie, du trafic au delà de son réseau, « à des prix, droits, et tarifs totaux (indiqués dans le pré- « sent acte sous le nom de tarifs totaux).

« Pourvu toutefois que :

« 1° La compagnie demandant que les marchandises « soient expédiées fera connaître par écrit à chacune « des compagnies participant au transport le tarif total « qu'elle propose, en spécifiant la somme, sa répartition « entre les compagnies, avec l'itinéraire qu'elle propose « d'adopter, etc... »

M. de Franqueville traduit par : tarifs totaux, l'expression « through rates », dont la traduction littérale serait : tarifs de transit.

Les tarifs communs sont généralement définis des tarifs spéciaux combinés entre deux ou plusieurs compagnies.

Quant aux tarifs totaux, c'est une expression qui n'est point employée et que nous n'avons trouvée définie nulle part ; nous ne savons pas le sens exact qu'y attache l'auteur.

Quoi qu'il en soit, il s'agit bien dans la loi anglaise de tarifs présentant pour le public tous les avantages des tarifs communs ; l'expéditeur ne connaît en effet qu'un tarif ; il expédie sa marchandise d'un point à un autre, comme s'il n'avait affaire qu'à une compagnie ; et c'est ensuite aux diverses compagnies intéressées à répartir entre elles la somme versée.

Il semble d'ailleurs par un hasard assez singulier que les membres de la commission aient voulu répondre d'avance à l'objection de M. de Franqueville dans le passage suivant sous l'autorité duquel nous plaçons notre interprétation.

« Un (through rate) n'est pas un tarif applicable aux « lignes d'une seule compagnie, ni la somme des tarifs de « deux ou plusieurs compagnies ajoutés les uns aux « autres ; mais un tarif unique pour un trajet considéré « dans son intégrité (6e rapport page 4). »

II.

Voulant donner une idée d'ensemble des résultats obtenus par la commission, nous avions cité le nombre des décisions rendues par elle, et insisté sur leur importance. Ces affaires sont au nombre de 127, et M. de Franqueville, par une dissection des plus habiles, les réduit à 38. Mais on va voir comment il procède à cette élimination.

Il supprime en une fois 36 affaires, qui, dit-il, sous l'empire de la législation antérieure, auraient été décidées par des arbitres, et non par les tribunaux; mais c'est précisément là qu'est le progrès : si la commission a eu à traiter annuellement environ douze fois plus d'affaires que la cour des Plaids communs, c'est sans doute, en partie, parce que ses attributions ont été étendues; mais on avouera que c'est un singulier raisonnement que celui qui part de là pour atténuer l'importance de la commission des chemins de fer.

Du reste, même en se bornant aux points où la législation est restée la même, la commission des chemins de fer a eu une action beaucoup plus étendue que la cour des Plaids communs. Pour l'établir, nous transcrivons un passage du cinquième rapport.

« Nous citions dans notre précédent rapport l'observa-
« tion de la commission parlementaire de 1872, faisant
« remarquer que la cour des Plaids communs n'avait eu
« à appliquer qu'une ou deux fois la disposition de la loi
« de 1854, qui exige des compagnies toutes les facilités
« raisonnables pour le transport et la remise des marchan-
« dises. Nous ajoutions que depuis 1873, les cas qui nous
« avaient été déférés, et où le public se plaignait de ne pas
« obtenir des compagnies toutes les facilités raisonnables,
« n'avaient pas été moins nombreux que les cas de *préfé-*
« *rence indue*. La même remarque s'applique à la période
« à laquelle s'étend le présent rapport » (5e rapport, § 7).

M. de Franqueville ne s'en tient pas là; il raye encore,

d'un trait de plume, 27 traités d'exploitation; sans doute ce ne sont pas là des affaires contentieuses, sans doute la commission a approuvé 25 traités sur 27; mais le contrôle institué par l'État sur les conventions d'exploitation n'est-il pas une partie considérable des attributions de la commission? Cette attribution nouvelle n'ajoute-t-elle pas à son importance? Et qui pourrait assurer que les 25 traités qu'elle a approuvés auraient été les mêmes s'ils n'avaient pas dû lui être soumis?

Il faut encore, d'après l'auteur de la lettre, retrancher 15 cas où les parties sont tombées d'accord avant le jugement : peut-on prétendre que l'influence de la commission, la crainte d'un jugement défavorable n'y soit pour rien? Nous avions signalé nous-même ces transactions et nous persistons à les considérer avec la commission elle-même (*) comme un des résultats les plus heureux obtenus par son institution, résultat qu'il serait souverainement injuste de ne pas porter à son actif.

Après avoir ainsi réduit le nombre des affaires soumises à la commission, l'auteur arrive en somme à quel résultat? à reconnaître qu'elle a jugé, même d'après ces singulières évaluations, autant d'affaires en cinq ans que la cour des Plaids communs en vingt ans.

III.

M. de Franqueville, qui veut que l'établissement de la commission des chemins de fer n'ait produit aucun effet utile, conteste encore l'importance des affaires qu'elle a eues à juger.

Que des jugements où sont tranchées la plupart des questions qui touchent aux rapports de l'État avec les compagnies de chemins de fer, n'aient aucune importance, c'est ce qui semblera difficile à admettre; mais la vivacité même avec laquelle M. de Franqueville conteste toutes les

---

(*) On verra dans une citation rapportée plus loin (p. 97) ce que la commission pense de son influence sur ces transactions.

décisions que nous avions citées n'est-elle pas la meilleure preuve qu'il s'attache à ces décisions un certain intérêt?

Et comment croire, si l'on connaît l'Angleterre, que des jugements qui règlent les transports du charbon et du minerai de fer sur quelques-unes des lignes anglaises ne touchent pas à des intérêts considérables?

M. de Franqueville cite cependant de pareils jugements parmi ceux qui sont destinés à prouver que la commission n'a eu à examiner que des affaires de peu d'importance.

IV.

M. de Franqueville passe ensuite à l'examen de chacune des décisions que nous avions citées. Nous nous étions borné à résumer chacune en quelques mots et à renvoyer pour plus de détails aux sources, c'est-à-dire aux rapports de la commission. L'auteur de la lettre conteste toutes nos assertions, expose chaque affaire en détail, et nous voici, à notre tour, forcé de le suivre dans ses développements.

Nous rencontrons tout d'abord une observation générale. Nous avons, dit-on, confondu les cas où la commission a statué comme arbitre et ceux où elle a rendu des arrêts : Nous regrettons que M. de Franqueville ne nous ait pas lu plus attentivement; car nous les avons au contraire soigneusement distingués. Après avoir rapporté les cas où la commission a statué comme juge, nous nous exprimions ainsi (Note, page 16 (*)) :

« Il nous reste à parler des pouvoirs donnés à la com-
« mission pour trancher par voie d'arbitrage les différends
« entre compagnies. » Et c'est seulement à la suite de cette observation que nous exposions les décisions qui rentrent dans cette catégorie.

L'un des cas où la commission a siégé comme arbitre se

(*) *Annales* 1879, 2e sem., p. 121.

rapportant aux tarifs communs, nous l'avions toutefois cité parmi les jugements, mais en ayant soin d'indiquer en note qu'il s'agissait d'un arbitrage (voir Note, p. 14, note 3 (*)).

Que veut-on établir d'ailleurs à l'aide de cette distinction ? Veut-on dire qu'il importe peu que la commission ait un pouvoir plus étendu lorsqu'elle siège comme arbitre (il y a 40 affaires dans ce cas), puisque les parties sont toujours libres de se soustraire à ce pouvoir ? Ce serait là une grave erreur ; car sur ces 40 affaires où la commission a siégé comme arbitre, il n'y en a pas moins de 35 (voir le tableau synoptique (**)) où l'une des deux parties avait droit d'entraîner l'autre devant la commission. Celle-ci n'était donc point tout à fait arbitre, puisqu'elle n'était pas désignée par l'accord des deux parties. Il ne lui restait, du caractère d'arbitre, que des pouvoirs très étendus, affranchis des restrictions stipulées par la loi. Mais ceci vient encore à l'appui de notre thèse, à savoir que les pouvoirs de la commission sont, à ne consulter que les termes de la loi, presque illimités.

Passons maintenant à l'examen de chaque cas particulier :

Nous avions dit (Note, page 12 (***)) :

« La commission n'a pas admis que des réductions de « tarifs fussent accordées à un expéditeur qui s'engageait « à ne se servir que du chemin de fer ; ou, en d'autres termes, elle a repoussé les tarifs d'abonnement. D'autre « part, elle a admis qu'une compagnie pourrait légitimement accorder des réductions de tarifs à qui s'engageait à fournir, par an, un tonnage minimum, pourvu « toutefois que les mêmes conditions fussent offertes à « tous ceux qui étaient en état de prendre un pareil enga-

(*) *Annales* 1879, 2e sem., p. 119.
(**) *Ibid.*, p. 116.
(***) *Ibid*, p. 117.

« gement, et que la compagnie se trouvât en concurrence « avec d'autres lignes. »

M. de Franqueville en nous contredisant (p. 17) omet entièrement de citer la seconde phrase, et oppose comme un argument sans réplique à l'assertion contenue dans la première phrase la décision même que nous avions analysée dans la seconde. Il donne ainsi à notre affirmation un caractére absolu qu'elle n'a point, en supprimant les correctifs qui l'entourent.

En somme, sur ce point la commission a rendu deux décisions (3e rapport, §§ 6 et 7).

Dans la première, la commission force la compagnie à rétablir l'égalité entre deux expéditeurs traités différemment, et qui avaient pris l'engagement, l'un de ne se servir que du chemin de fer pendant 30 ans, l'autre pendant 14 ans.

Dans la seconde, la commission a admis une réduction de 15 p. 100 sur les tarifs, en faveur d'un expéditeur (M. Flageollet) qui s'engageait à fournir 850 tonnes par mois. mais en spécifiant qu'elle ne le faisait qu'en raison de circonstances particulières.

Voici les termes mêmes de ce dernier jugement :

« Si un particulier était en état de fournir à une com- « pagnie des marchandises à transporter, dans des condi- « tions telles, qu'un tarif inférieur appliqué à ces mar- « chandises fût aussi rémunérateur pour la compagnie « qu'un tarif supérieur appliqué à des marchandises simi- « laires dans d'autres cas, nous ne considérerions proba- « blement pas que l'inégalité tombât sous le coup de la « loi. Mais il n'est point soutenu que les marchandises « de M. Flageollet soient transportées par le chemin de « fer à moins de frais par tonne et par mille que les mar- « chandises des demandeurs........... Les défendeurs pré- « sentent d'autres motifs, comme ceux sur lesquels ils « s'appuient principalement, etc.... » (3e rapport, § 7).

Suit l'exposé de ces motifs : la compagnie fait observer qu'elle est en concurrence avec d'autres entreprises de transport, et c'est pour cette raison que la commission lui donne gain de cause.

Quant au premier jugement en voici les termes : « Les « plaignants ne pourront être contraints à payer un prix « plus élevé pour le transport de leurs ardoises que la « compagnie des ardoises du pays de Galles, sauf, s'il se « présente des circonstances qui rendent les dépenses de « la compagnie pour le transport plus élevées dans un cas « que dans l'autre, et si la convention de 1864 permet de « prendre ces circonstances en considération.

« La seule circonstance de ce genre qui ait été portée « à notre connaissance est relative à l'usage des wagons « de la compagnie » (3e rapport, § 6).

Suit la discusion de cette allégation et la demande est rejetée.

Ne ressort-il pas de là que la commission n'admet de réduction de tarifs que quand il y a réduction de dépense pour la compagnie, et qu'elle ne considère point l'engagement de ne se servir que des lignes de la compagnie ou de fournir un tonnage minimum par an comme réduisant les dépenses de la compagnie ?

Nous avions affirmé (p. 13 de notre Note (*)) que la commission avait contraint des compagnies à construire de nouvelles stations, ou à agrandir les stations existantes, et nous avions cité dans notre Note trois cas :

M. de Franqueville prétend que, dans aucun cas, il n'est question de construire de nouvelles stations. Il fait observer que l'une des décisions citées a été cassée par la cour du banc de la Reine, et que dans les deux autres cas un arrangement est intervenu avant le jugement.

Pour la première décision, il est exact qu'elle a été

(*) *Annales* 1879, 2e sem., p. 118.

frappée d'appel. Mais cet appel n'était pas jugé, non seulement au moment où nous écrivions, mais même au mois de janvier 1880. Nous craignons que M. de Franqueville n'ait fait erreur en assurant que le jugement était cassé au moment où il écrivait; et, en tous cas, la décision de la cour devant laquelle était porté l'appel (décision que nous ne connaissons point) n'est pas un jugement en dernier ressort.

Est-il possible, en outre, de ne pas tenir compte des cas où une compagnie citée devant la commission (généralement par des municipalités) a consenti avant le jugement à donner pleine satisfaction aux plaignants et à construire ou à agrandir des stations ? Nous ne le croyons pas, et l'on va voir ce que pense la commission elle-même de la pression qu'elle a exercée sur les parties.

« Dans cet acte, il fut convenu que les trois compagnies « à frais communs et également répartis modifieraient et « agrandiraient la station de voyageurs, que la compagnie « du Midland se *construirait une gare* séparée pour mar- « chandises et minéraux sur le terrain inoccupé, et que « la gare de marchandises serait modifiée, s'étendrait sur « un terrain plus vaste et servirait en commun aux deux « autres compagnies. Cette convention, ajoute le rapport, « donnait pleine satisfaction à la municipalité ; elle attei- « gnait ainsi le but qu'elle s'était proposé, en engageant « une procédure pour l'application de la loi de 1873. *La « pression à laquelle cette convention est due* peut être » notée comme l'une des formes sous lesquelles cette loi « rend service aux compagnies et au public en même « temps » (5e rapport, § 10).

Du reste, sur ce point les preuves abondent, et voici comment s'exprime la commission elle-même, à la suite d'une décision récente, par laquelle elle a forcé une compagnie à construire une nouvelle station.

« Voici, ainsi que nous l'avons dit dans notre décision,

« quelle est notre appréciation : Une compagnie, lorsqu'elle « ne reçoit le trafic d'une certaine région qu'en des points « situés sur ses lignes à des distances déraisonnables l'un « de l'autre, et lorsqu'elle n'est pas dans un cas d'impos- « sibilité, ne peut refuser de créer de nouveaux points « d'accès. L'avantage que présente pour le commerce la « création de stations suffisamment rapprochées, avantage « qui dépend de l'importance du trafic et de diverses con- « sidérations, doit évidemment l'emporter sur les incon- « vénients qui peuvent résulter, pour la compagnie, de « cette création, soit par la dépense qu'elle nécessite, soit « par la gêne qu'elle peut causer. Le refus de la compa- « gnie est une infraction aux dispositions de l'article 2, « qui permet d'exercer les pouvoirs conférés par la loi, et « d'enjoindre à la compagnie d'accorder les facilités de- « mandées (6e rapport, p. 5).

Est-il possible, après cela, d'admettre, avec M. de Franqueville (p. 29), que jamais la commission « n'a prétendu « avoir le droit de faire créer une station » ?

Nous avions dit que, deux compagnies ayant dans une ville des stations reliées par une ligne abandonnée, la commission les avait contraintes de rétablir la communication (voir le rapport cité textuellement, p. 112).

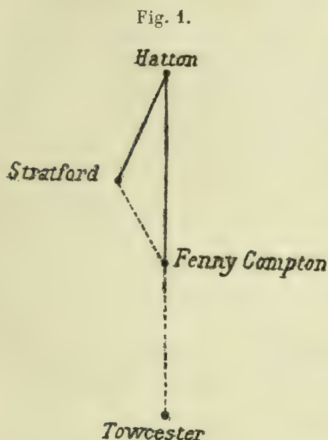
Nous avions dit également qu'une compagnie ayant appliqué deux tarifs différents, à deux espèces de charbon, la commission avait rétabli un tarif uniforme. Ces deux points ne sont pas contestés.

« Deux voies sont ouvertes, avions-nous dit plus loin, « pour le transport du charbon d'un point à un autre ; « l'une de ces voies appartient tout entière à une compa- « gnie, l'autre partiellement seulement. Il est interdit à la « compagnie d'appliquer deux échelles de tarifs diffé-

« rentes sur ces deux voies. » (*East and West Junction V. Great Western*). Il serait effectivement plus exact de dire que la compagnie ne possédait les deux voies que partiellement ; mais qu'elle possédait sur l'une une longueur de rails plus considérable que sur l'autre.

La conclusion n'en reste pas moins la même; la compagnie, pour attirer le trafic sur la voie Towcester, Fenny Compton, Stratford, Hatton qui lui était plus avantageuse, voulait établir un tarif commun entre Towcester et Hatton, mais seulement pour le trafic qui suivrait cette voie. C'est donc bien dire que sur le tronçon Towcester, Fenny Compton, elle avait deux échelles différentes, suivant la voie que suivaient ultérieurement les marchandises. Il n'est pas moins exact de dire que la commission des chemins de fer s'est absolument opposée à cette prétention. Voici, du reste, en quels termes *Hodges*, auquel nous avions renvoyé, et dont le livre fait autorité en pareille matière, résume l'affaire :

Fig. 1.



« La compagnie plaignante ayant le choix entre deux « routes pour le trafic commun, l'une de huit milles plus « longue que l'autre, proposait pour établir un tarif com- « mun de passer par la plus longue avec doubles frais et « double travail dans l'exploitation et dans l'entretien des « embranchements. Son seul but était d'allonger le par- « cours sur ses rails et de le diminuer sur ceux de l'autre « compagnie. La commission décida qu'un pareil trajet « n'était pas raisonnable » (*Hodges on Railways*, p. 520). Après avoir écarté la prétention de la compagnie, la com-

mission décide que le tarif commun (*) sera applicable aux deux routes, que le public choisira entre elles ; mais elle va plus loin, et nous nous étonnons de voir ce point omis dans la réponse de M. de Franqueville. Elle décide : « que « le tarif commun sera réparti entre les deux compagnies, « de façon que les deux trajets soient, en ce qui concerne « seulement les deux compagnies, sur le pied d'égalité » (1er rapport, p. 5).

Cependant, après avoir eu ce *jugement* sous les yeux, après avoir reconnu qu'il s'agit ici d'un tarif commun, M. de Franqueville soutient que la commission n'a pas le droit d'établir des tarifs communs et de les répartir.

Nous avions cité plus loin un cas qui nous semblait assez saillant : celui d'une compagnie qui, pour s'affranchir du maximum, avait porté à 3 fr. des *terminal charges*, qu'elle réduit ensuite à 0f,60.

M. de Franqueville paraît contester cette assertion; mais nous ne voyons pas en quoi ses explications diffèrent des nôtres ; il s'agit, il est vrai, d'une transaction, mais c'est bien un *jugement* de la commission qui a forcé la compagnie à faire connaître la décomposition de ses tarifs. Et ce qui fait encore mieux ressortir l'influence qu'a pu avoir sur le résultat final la certitude de la décision à intervenir, c'est que la compagnie a consenti non seulement à modifier ses tarifs pour l'avenir, mais encore à reprendre sur les nouvelles bases tous ses comptes avec le plaignant depuis 6 ans. Elle a naturellement été condamnée aux frais.

Nous avions cité un cas où la commission à imposé un

(*) Nous ferons remarquer que dans sa lettre M. de Franqueville, entraîné par le sens forcé des mots traduit, ici *through rates* par : tarifs communs, après avoir refusé plus haut d'admettre une pareille traduction. Il en est de même un peu plus loin, p. 24, ligne 3.

tarif commun et l'a réparti arbitrairement (5e rapport § 19) (*).

Ce cas nous ayant paru intéressant, nous l'avons exposé en détail dans une; note M. de Franqueville le développe à son tour, ne contredit en rien nos affirmations; il ajoute même, qu'après avoir imposé deux tarifs proportionnels aux longueurs des deux trajets parcourus entre les deux mêmes points, qu'après avoir imposé pour l'un de ces trajets un tarif commun, la commission le répartit ensuite

(*) Voici la citation textuelle de M. de Franqueville :

« Ici, l'inexactitude est plus forte encore. Il semble, à entendre l'auteur, que la commission intervient d'autorité contre deux compagnies, les force à s'entendre et règle arbitrairement les tarifs. »

« Or, voici comment les faits se présentent dans cette affaire, qui a été jugée le 16 août 1878. »

« Deux compagnies, celle du Solway-Junction et celle du Maryport and Carlisle, avaient conclu un traité par lequel elles établissaient un *tarif commun*. La compagnie de Maryport s'adressa à la commission pour faire interpréter par voie d'arbitrage un point du traité : elle prétendait que les transports de coke entre certains points ne constituaient pas « un trafic échange dans les conditions « prévues au traité », mais, ajoute le rapport de la commission, « tout en admettant que le point peut être douteux, nous avons « pensé que peu importait la provenance des marchandises ou leur « nature, et que, du moment où il y avait remise faite par une « compagnie à l'autre, le traité permettait d'exiger l'application « du tarif commun. La distance à partir de Carlisle était plus « longue par la route du Solway que par celle du Maryport, et « nous avons fixé le montant de la taxe au-dessus de celui du « tarif local perçu par la compagnie du Maryport, en tenant « compte de la longueur des deux routes. Nous avons agi ainsi « parce que nous avons pensé qu'en prenant un prix plus bas, « nous aurions donné à la compagnie du Solway plus de facilités « que le traité n'en a voulu donner, et, comme les deux compa- « gnies avaient déclaré d'avance s'en rapporter à notre décision « quelle qu'elle fût, sur la question du partage de la taxe totale, « nous avons donné à la compagnie du Maryport, pour les recettes « de ce trafic spécial, un avantage de deux milles (3.200 mètres) « en sus de la longueur réelle de sa ligne. »

entre les deux compagnies d'une façon absolument arbitraire. D'où vient que M. de Franqueville, dont les explications concordent absolument avec les nôtres, nous accuse d'inexactitude? serait-ce parce que nous avons paru croire que la commission intervenait d'autorité contre les deux compagnies? mais nous avons eu bien soin de dire qu'il s'agissait d'un arbitrage.

Et ne serait-ce pas M. de Franqueville qui se tromperait sur la nature de cet arbitrage? Dans l'espèce, les deux compagnies avaient été d'accord pour s'adresser à la commission; mais il est bien certain que la commission intervient d'autorité sinon, contre les deux parties, du moins contre l'une d'elles, puisque la compagnie plaignante a pu, aux termes de la loi, contraindre l'autre partie à subir la juridiction de la commission.

La commission, disions-nous plus loin, en maintes circonstances, détermine le montant obligatoire d'un tarif commun, et en fixe la répartition entre deux compagnies. Ce point est certainement l'un des mieux établis; c'est le seul sur lequel les termes de la loi soient précis; ils ont été rapportés au début (page 89).

Le droit de la commission a été affirmé par elle-même dans un passage que nous traduisons :

« Quant à cette partie du trafic qui, circulant sur les « voies d'une compagnie, se rend sur d'autres lignes ou en « provient, on a le droit aujourd'hui d'obliger une com« pagnie à le transporter et à lui appliquer des tarifs infé« rieurs au maximum. Dans notre pays, les chemins de fer « sont tellement enchevêtrés, ils sont si fréquemment em« ployés à transporter des marchandises qui ne font que « traverser leurs voies, que l'on a jugé nécessaire d'as« surer l'établissement de tarifs communs : ces tarifs sont « en effet un des éléments les plus importants de la libre « circulation. L'on a voulu qu'aucune difficulté touchan

« leur montant, leur répartition et la route à suivre ne pût « y faire obstacle. La commission royale de 1865 et la com- « mission de 1872 avaient toutes deux demandé qu'il y « eût un moyen d'imposer aux compagnies de pareils tarifs, « en dépit de tout désaccord, et la loi votée l'année sui- « vante a donné satisfaction à cette double recommanda- « tion. D'après l'article 11, toute compagnie a droit de « proposer des tarifs communs pour le transport des mar- « chandises sur les lignes d'une autre compagnie, et, si « celle-ci n'y consent point, de s'adresser à nous pour fixer « et répartir le montant de ces tarifs : « at our discretion », « (suivant notre appréciation). » (4e rapport, § 14).

Voilà qui est bien concluant, mais ce n'est pas tout. Ce droit affirmé d'une façon si péremptoire, la commission l'a exercé à maintes reprises. Nous avions renvoyé à trois décisions en indiquant qu'elles étaient prises au hasard entre plusieurs autres. M. de Franqueville paraît croire qu'il n'en existe point en dehors des trois auxquelles nous avions renvoyé. Afin de rendre toute contradiction impossible, nous allons citer textuellement le résumé de divers *jugements* de la commission, résumé extrait des rapports de la commission elle-même.

Le cas le plus saillant est celui de l'East and West Junction V. Great Western, cité plus haut, page 99, analysé par M. de Franqueville lui-même, qui a reconnu que cette fois il s'agissait de tarifs communs. C'est bien là un tarif commun imposé et réparti *par un jugement*.

Voici un second procès entre les mêmes compagnies, mais sur un point différent de leurs lignes.

« Dans ce cas, il existait deux voies pour le minerai de « fer se rendant du Northamptonshire dans le sud du pays « de Galles. L'une par la compagnie du N. O. jusqu'à « Smethwick, l'autre par l'East and West Junction jusqu'à « Stratford : les deux routes se prolongeaient sur les voies « du Great Western. Le sud du pays de Galles est à la

« même distance de Smethwick que de Stratford, mais « entre les portions du trajet qui s'effectuent sur les voies de la compagnie du N. O. et de l'East and West « Junction, il y a une différence de « 20 milles en faveur de cette dernière « compagnie. Le Great Werstern avait « déjà un tarif commun avec le N. O. « pour le transport du minerai de fer « venant de Smethwick, et le tarif lui « donnait environ 0f,05 par mille. « L'East and West Junction proposait un « tarif commun pour le trajet qui passe « à Stratford. Le tarif commun était in-« férieur au précédent, mais suffisait à « assurer au Great Western le même « produit kilométrique, sur la partie du « trajet total qui lui appartenait. La « compagnie du Great Western cepen-« dant refusait d'accorder le tarif com-« mun à l'East and West Junction, à moins que le tonnage « total ne fût le même sur les deux voies. Mais nous consi-« dérâmes que cela était plus qu'elle ne pouvait raisonna-« blement exiger, eu égard à la différence de 20 milles « entre les deux voies; et nous imposâmes le tarif commun « proposé sous la seule condition que l'East and West Junc-« tion fournirait un tonnage moyen de 500 tonnes par se-« maine » (2e rapport page 6).

Fig. 2.



Il s'agissait ici de l'application de la loi et non d'un arbitrage.

Voici un autre jugement rendu pour l'application de la loi; ce n'est point non plus un arbitrage.

« Dans le cas suivant, on demandait qu'un tarif commun « fût accordé par la Compagnie calédonienne aux voyageurs « de la ligne de Wemyss Bay se rendant à Glasgow ou en

« provenant. La Compagnie calédonienne était chargée de « l'exploitation sur tout le trajet qui sépare Glasgow de « Wemyss Bay ; elle délivrait des billets uniques pour tout « le trajet; et si l'on demandait des tarifs communs, ce « n'était point qu'il y eût grand intérêt pour les plaignants « à ce que la Compagnie calédonienne appliquât des tarifs « communs au lieu de tarifs cumulés ; mais en imposant « des tarifs communs, nous devions nécessairement les « répartir ; et si nous adoptions la répartition proposée par « la compagnie de Wemyss Bay, celle-ci devait recevoir à « l'avenir une part plus considérable du tarif commun.

« Après avoir consacré plusieurs jours à l'audition de « cette affaire, nous imposâmes un tarif commun pour « l'ensemble du trafic, et nous le répartîmes entre les deux « compagnies aussi équitablement qu'il nous fut possible » (2e rapport, p. 6).

Nous croyons la démonstration faite, et nous ne parlons point d'un cas où les tarifs communs demandés ont été accordés par voie de transaction avant le jugement ni d'un cas où la commission a refusé un tarif commun, mais parce que la compagnie qui le demandait n'avait point qualité pour cela.

Sur le point suivant, nous avions commis une erreur que M. de Franqueville relève à bon droit ; mais on va voir quelle en est la portée :

Nous avions dit qu'un jugement condamnait une compagnie à entrenir un tronçon de canal négligé par elle. Le jugement affirme que la commission a le droit d'exercer sur la compagnie une pareille contrainte ; mais, dans l'espèce, elle renvoie la compagnie des fins de la plainte, parce qu'il n'est pas suffisamment établi à ses yeux qu'elle soit propriétaire du canal. Voici d'ailleurs les termes du rapport :

« En vertu du chapitre 48 du statut 36 et 37 Victoria, « chaque compagnie de chemin de fer, propriétaire d'un

« canal ou en ayant l'administration, est obligée de le « réparer convenablement, et de le maintenir en bon état « d'entretien et d'exploitation. Les plaignants deman- « daient que la compagnie fût obligée d'observer la loi. La « compagnie, de son côté, niait qu'elle eût été jamais pro- « priétaire du canal, et quant à cette question de fait, la « propriété ne nous a pas paru suffisamment prouvée pour « permettre d'appliquer la loi » (4e rapport, § 18).

Il faut donc changer un seul mot à notre phrase et dire :

Une compagnie *peut* être contrainte à entretenir et à exploiter un tronçon de canal qu'elle a affermé afin d'interrompre la navigation sur cette voie.

Mais on va voir que bien loin d'exagérer les pouvoirs de la commission, en ce qui concerne les rapports des chemins de fer et des canaux, nous ne les avions pas fait ressortir d'une façon suffisante. Pour qu'on ne puisse nous accuser de fausse interprétation, nous citons encore textuellement le rapport de la commission :

« Les canaux de Warwick de Birmingham, d'Oxford, « de grande jonction et du Régent, forment ensemble une « ligne de navigation continue, depuis le Sud du Stafford- « shire jusqu'à Londres ; mais les tarifs imposés sur quel- « ques-uns de ces canaux rendraient à cette route, consi- « dérée dans son ensemble, toute concurrence avec le « chemin de fer impossible. Ainsi le trafic provenant du « canal de grande jonction était grevé sur le canal du « Régent d'un droit de $0^f,95$ environ. Ainsi encore, les ca- « naux de Birmingham et d'Oxford, entre lesquels est « placé le canal de Warwick, avaient chacun imposé un « droit d'entrée et de sortie aux barques qui les traver- « saient et le canal de Birmingham, placé sous le con- « trôle de la compagnie du chemin de fer de Londres et « du Nord-Ouest, imposait en outre un tarif kilométrique « aux marchandises en transit sur son parcours. Sur le

« canal d'Oxford, le droit d'entrée et de sortie tenait lieu « de tarif kilométrique, mais il s'élevait à environ $0^{f},40$ par « tonne, et le montant en paraissait très exagéré, si l'on « réfléchissait que le canal d'Oxford n'occupait que les $\frac{7}{001}$ « du trajet total.

« Il était bien inutile que les canaux de Warwick et de « grande jonction réduisissent leurs tarifs, si des tarifs « élevés étaient maintenus par les autres compagnies, et il « était facile de voir qu'on n'obtiendrait d'effet utile qu'en « fixant le montant des tarifs communs, où se trouveraient « compris et englobés tous les tarifs partiels. La compagnie « du canal de Warwick proposait, en conséquence, di- « vers tarifs communs modérés et inférieurs à la somme « des tarifs séparés, ces tarifs étant fixés en fait, d'après les « charges que pouvait supporter le trafic disputé, et d'après « les tarifs du chemin de fer. Elle proposait en outre que « ces tarifs fussent répartis proportionnellement aux dis- » tances, sauf fixation d'un minimum pour les courtes dis- « tances. Après avoir écouté toutes les objections, nous ac- « cordâmes les tarifs demandés; mais nous en modifiâmes « sur certains points la répartition de manière à favoriser « le canal du Régent et celui d'Oxford, en raison de cir- « constances qui leur donnaient droit à une part un peu plus « élevée que celle qui leur eût été attribuée par une divi- « sion proportionnelle aux distances. (4[e] rapport, § 16.)

Sur le point suivant (une compagnie contrainte de modifier les heures de départ de ses trains), M. de Franqueville ne conteste point nos assertions, mais fait remarquer que si la commission a exercé une pareille contrainte, c'est qu'elle appliquait le cahier des charges. Il n'en est pas moins vrai qu'il y avait lieu à une interprétation très délicate, et que le cahier des charges a été interprété dans un sens favorable au public.

D'ailleurs, M. de Franqueville parle lui-même d'un cas

encore plus saillant : celui où la commission a contraint une compagnie, par un jugement qui appliquait simplement les termes de la loi, à faire circuler quatre trains par jour sur une ligne abandonnée (voir le rapport cité p. 111 et 112).

V.

Est-il besoin, après les détails dans lesquels nous venons d'entrer, de justifier bien longuement nos conclusions ?

L'auteur de la lettre nous accuse de n'avoir pas distingué les cas d'arbitrage des véritables jugements. On a vu plus haut ce qu'il fallait penser de ce reproche. Nous avions soigneusement distingué ces cas différents, mais nous répétons qu'il ne s'agit pas de véritables arbitrages, puisque le juge n'est pas désigné par l'accord des deux parties et qu'il est imposé à l'une d'elles ; nous avions d'ailleurs fait voir par un exemple particulier que la commission lorsqu'elle siégeait comme arbitre, avait des pouvoirs encore plus étendus que lorsqu'elle siégeait comme juge.

Quoi qu'il en soit, toutes nos conclusions, sauf la 3e, à l'appui de laquelle nous n'avions cité aucune décision, et qui d'ailleurs n'a pas grande importance, sont appuyées sur de véritables jugements.

Nous avions dit :

1° *La commission peut imposer à deux compagnies des tarifs communs ; en fixer le montant et les répartir entre les deux compagnies.*

Nous pensons avoir suffisamment établi ce point plus haut en citant les termes de la loi (page 89), en rapportant un passage où la commission affirme elle-même ses pouvoirs (page 101), enfin en traduisant littéralement les résumés de trois jugements extraits des rapports de la commission (pages 103, 104, 106). Après avoir lu ces juge-

ments, on verra ce qu'il faut penser des assertions de M. de Franqueville (*).

Sans doute ce pouvoir est entouré de restrictions, quant à la qualité des personnes compétentes, pour introduire l'instance, et quant à la faculté refusée à la commission d'accorder *ultrà* ou *infrà petita*; nous avions analysé ces restrictions, en citant les passages où la commission en demandait la suppression. Mais ces restrictions n'en laissent pas moins à la commission un pouvoir considérable, ainsi qu'on a pu en juger par les décisions que nous avons traduites. Nous ferons remarquer, en outre, que lorsque la commission siège comme arbitre, ces restrictions disparaissent, ainsi qu'on aura pu le voir dans un des cas cités par nous dans notre première note (Note, p. 14 (**)).

(*) Voici la citation textuelle de M. de Franqueville :

« 1° Non, aucune des décisions citées n'établit que la commission ait le pouvoir d'imposer des tarifs communs, d'en fixer le montant et la répartition. Les trois cas rappelés par l'auteur ne prouvent absolument rien, puisque dans l'un les parties se sont mises d'accord avant jugement, et que, dans les deux autres, la commission a rejeté les demandes de tarifs communs. »

(Nous avons dit que les trois cas mentionnés par nous l'avaient été parmi beaucoup d'autres; nous avons reproduit textuellement plus haut plusieurs décisions qui nous paraissent trancher la question.)

« Il est vrai qu'avec bien des restrictions, la loi du 21 juillet 1873 autorise la commission à statuer, dans certains cas, sur l'établissement d'un tarif total pour assurer la continuité des transports au delà du réseau de la compagnie qui a reçu les marchandises, mais, comme je l'ai rappelé plus haut, il faut que la demande émane de l'une des deux compagnies qui doivent participer au transport; le gouvernement et le public n'ont jamais le droit de prendre l'initiative, la commission ne peut qu'accepter ou rejeter le prix proposé, mais non le modifier; il faut que ce prix soit équitable et raisonnable eu égard à toutes les conditions de l'affaire : frais de construction ou d'exploitation des lignes, etc. Enfin, la loi ajoute que la commission ne peut, en aucun cas, obliger une compagnie à accepter un tarif faisant ressortir un produit kilométrique inférieur à celui qu'elle perçoit pour les marchandises de même nature sur d'autres lignes de son réseau avec les mêmes points d'entrée et de sortie. »

(**) *Annales* 1879, 2ᵉ sem., p. 119.

2° *La commission peut, lorsqu'il s'agit de tarifs communs, imposer a une compagnie un tarif même inférieur au maximum qui lui est fixé par son cahier des charges.*

M. de Franqueville admet ce point, ce qui paraîtra assez bizarre, si l'on se souvient qu'il a refusé d'admettre le précédent, « mais on a vu, dit-il, quel usage la commis-« sion a fait de ce droit tout platonique. » Nous pensons que les décisions citées par nous (p. 103, 104, 106) et qui imposent des réductions de taxes suffisent à prouver que ce n'est point là un droit platonique.

3° *La commission est, toutes les fois qu'il n'y a pas de maximum, maîtresse absolue du tarif.*

C'est là un point sans grande importance, car il est bien peu de cas où il n'y ait pas de maximum imposé. Nous avions dit nous-même, quoique M. de Franqueville ait omis de le rappeler : « ce cas se présente parfois. » Quoi qu'il en soit ce point est contesté et M. de Franqueville cite un passage, auquel nous avions renvoyé, et où la commission aurait reconnu elle-même n'avoir point le pouvoir que nous lui avions attribué. Mais, en citant ce passage, M. de Franqueville omet au début deux phrases qui en altèrent sensiblement le sens. On pourrait croire, en lisant la citation dans la lettre de M. de Franqueville, que c'est dans le cas particulier où il n'y a pas de maximum imposé que la commission se plaint que la qualification de : « raisonna-« ble » n'ait point de valeur pratique; il n'en est rien.

En effet, si l'on consulte seulement les termes de la loi, les tarifs doivent être raisonnables, qu'il y ait un maximum imposé ou non, qu'il s'agisse de tarifs communs ou non. C'est en vue du cas général et nullement en vue du cas particulier dont nous avions parlé, que la commission se plaint de l'insuffisance de ses pouvoirs. On va en juger : Voici les phrases omises par M. de Franqueville :

« Il est bien connu que les tarifs que peut établir une

« compagnie ne doivent pas excéder le maximum imposé « par son acte de concession. On n'a pas assez remarqué « que ces tarifs (il s'agit bien ici des tarifs en général) doi- « vent aussi être raisonnables, et même lorsqu'une com- « pagnie (ici vient le passage cité et traduit par M. de « Franqueville) est autorisée à percevoir la taxe qu'elle « veut, comme cela arrive pour les colis n'excédant pas « un certain poids (généralement 500 livres), son pouvoir « n'est pas absolu, en ce sens que le prix perçu doit être « raisonnable. » (C'est bien ce que nous avions dit.) Puis la commission ajoute :

« On s'est plaint plusieurs fois à nous de l'élévation des « tarifs pour le trafic local » (Qui ne voit qu'il s'agit bien ici de l'ensemble du trafic et non du cas particulier où il n'a pas été prévu de maximum ?) « et il y a lieu de se de- « mander s'il ne serait pas bon que cette importante ex- « pression légale, de raisonnable devint pratiquement « utile, etc. »

Les termes de la loi, nous l'avons dit, sont extrêmement vagues ; et c'est ce vague même qui arrête la commission dans les cas où elle se trouve en présence d'un maximum déterminé par un acte de concession, et où il ne s'agit pas de tarifs communs.

4° *La commission peut même déterminer le nombre et les heures de départ des trains.*

M. de Franqueville assure que cela est inexact, puis il continue.

« Ce qui est exact, c'est que la commission, saisie par « une plainte régulière, a pu décider qu'une compagnie « n'accordait pas de facilités raisonnables en ne faisant « circuler qu'un ou deux trains par jour sur une ligne. » Cette assertion diffère peu de la nôtre, mais ici encore nous citerons textuellement :

« Quoi qu'il y eût un chemin de fer entre Chatham et Strood »

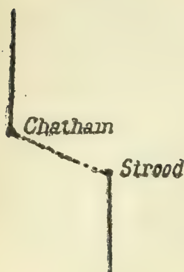


Fig. 3.

(deux villes séparées par une distance d'un mille et demi) « et que ce chemin « de fer fût ouvert et en bon état d'entre- « tien, les marchandises n'y passaient « point et ne pouvaient être transpor- « tées que par route. Les heures de dé- « part des trains aux deux stations « n'étaient pas combinées de façon à « établir une communication facile; « bien plus, il y avait à peine un train, « sur chaque ligne, qui quittât l'une des deux stations « moins d'une heure après l'arrivée d'un train à l'autre sta- « tion..... A tous ces points de vue les agissements des « compagnies violaient le *traffic act*, et nous rendîmes « un jugement pour leur prescrire d'y mettre un terme ».

5° *Elle peut contraindre à créer et à agrandir des stations.*

Jamais, dit M. de Franqueville, la commission n'a prétendu avoir le droit de faire créer une station. On se reportera à la citation de la page 97 pour voir ce qu'il faut penser d'une pareille affirmation.

VI.

Nous avions dit en concluant :

L'État possède en Angleterre des pouvoirs que l'État ne possède ou n'exerce pas en France.

M. de Franqueville conteste la première partie de cette assertion, sous prétexte que la commission des chemins de fer est un tribunal indépendant du *Gouvernement*.

Sans doute la commission des chemins de fer est, à part quelques fonctions administratives tout à fait secondaires, un simple tribunal; sans doute elle est aussi indépendante

du gouvernement que tout autre tribunal; mais M. de Franqueville confond le gouvernement et l'Etat; nous n'avons amais dit que le gouvernement, ou pour mieux dire l'administration supérieure, eût en Angleterre le pouvoir d'imposer aux compagnies des tarifs communs. Nous avons seulement parlé du pouvoir de l'État. Quand un tribunal applique les lois faites par le parlement, n'est-ce pas le pouvoir de l'Etat qui est mis en action? N'est-ce pas dans ce sens que l'on appelle la magistrature un des pouvoirs de l'État? Eh bien, le Parlement a fait une loi qui permet d'imposer aux compagnies des tarifs communs inférieurs au maximum et la commission des chemins de fer applique cette loi; c'est tout ce que nous avons voulu dire et ce que nous pensons avoir démontré d'une manière irréfutable.

Quant à la seconde partie de notre assertion, à savoir que l'Etat ne possède ou n'exerce pas de pareils pouvoirs en France, M. de Franqueville, pour la contester, en supprime la moitié.

« J'omets à dessein, dit M. de Franqueville, les mots : « n'exerce pas, qui sont inutiles, puisque l'État peut tou- « jours exercer ses droits s'il le juge bon. »

Que dirait donc M. de Franqueville si nous appliquions le même procédé de raisonnement à la commission anglaise des chemins de fer, et si nous disions : peu importe qu'elle n'exerce pas tous ses pouvoirs, puisqu'à consulter les termes de la loi ces pouvoirs sont illimités.

Nous nous permettons de croire que ce qui importe au point de vue de l'intérêt public, c'est que l'État exerce ses pouvoirs, et qu'un pouvoir que l'État n'exerce pas est comme s'il n'existait point.

M. de Franqueville nous oppose le droit d'homologation qui est aujourd'hui reconnu par les compagnies et qui a même été appliqué dans certains cas (*).

(*) Voir le discours du Ministre des travaux publics, séance du 20 mars 1877 à la Chambre des députés.

Mais ce droit n'est pas comparable à celui qu'a la commission anglaise des chemins de fer d'imposer un tarif commun à une compagnie sur la proposition d'une autre compagnie. C'est généralement par le refus de tarifs communs qu'une compagnie peut faire tort à celles avec lesquelles elle se raccorde; et en France, l'État, ou, si M. de Franqueville ne veut point de ce mot, l'intérêt public est absolument désarmé sur ce point.

Nous pensons pouvoir répéter après ces quelques explications que l'Etat possède en Angleterre des pouvoirs que l'État ne possède ou n'exerce pas en France, nous dirons même, en ce qui concerne les tarifs communs, que l'État ne possède pas en France.

Il est certain que la commission anglaise des chemins de fer rencontre dans l'exercice de ces pouvoirs des obstacles considérables; mais ceux-ci n'en restent pas moins étendus et M. de Franqueville s'est laissé entraîner trop loin par son désir d'atténuer l'importance de la commission, lorsqu'il les a présentés comme insignifiants.

Dans une étude sur les chemins de fer anglais, publiée en Allemagne, à la suite d'une mission officielle par M. Wehrmann, conseiller et membre de la direction des chemins de fer à Elberfeld, nous trouvons quelques mots relatifs à la commission des chemins de fer, qu'on lira sans doute avec intérêt. Nous avions dit, on s'en souvient peut-être, que la commission dont les pouvoirs sont théoriquement presque illimités, rencontrait certains obstacles dans le vague même des termes de la loi, dans quelques restrictions qui y sont insérées, enfin dans l'absence, en Angleterre, de toute centralisation. Voici quelles sont les conclusions de l'auteur allemand : « Le développement de la législation anglaise « s'est arrêté à ce principe très général, évident par lui- « même, à savoir que les tarifs doivent être établis d'une « manière rationnelle, et que, pour atteindre ce but, les

« compagnies sont tenues de se prêter, entre elles et à « l'égard du public, à toutes les concessions équitables.

« La supériorité du système anglais provient donc prin- « cipalement de l'existence d'un tribunal revêtu de l'auto- « rité nécesssaire pour appliquer ce principe d'une manière « presque absolue, et possédant les moyens de faire exé- « cuter les décisions qu'il prend. » Suit un passage où l'auteur parle des obstacles que rencontre la commission des chemins de fer et les attribue exclusivement (ce qui nous semblerait assez difficile à justifier) à la puissante représentation des compagnies de chemins de fer dans le Parlement anglais.

VII.

M. de Franqueville aurait pu mieux faire, dans l'intérêt de sa thèse, que de contesterd es assertions et des faits incontestables.

Il aurait pu faire connaître au public une décision récente rendue depuis le moment où nous écrivions notre Note. Cette décision est pour la commission le début d'une crise qui ne manque pas de gravité et dont il est difficile de prévoir le dénouement.

La partie la plus importante des attributions de la commission est sans contredit celle qui se rapporte à la fixation et à la répartition des tarifs communs. Or l'une de ses décisions en cette matière, celle que nous avons rapportée page 106, a été cassée en appel, par un jugement qui n'est point en dernier ressort, et dont il a été interjeté appel. Voici comment s'exprime à ce sujet la commission elle-même; on voudra bien se reporter aux circonstances de l'affaire exposées plus haut. Une compagnie de chemins de fer, le London and N. O., avait acquis par une convention d'exploitation tout pouvoir sur une portion de canal (le canal de Birmingham) et en élevant les taxes rendait toute circulation impossible : « La portion du tarif commun que

« nous avions accordée à la compagnie du canal de Birmin-
« gham était inférieure à ses taxes locales. S'appuyant sur
« ce point, et se fondant sur ce que les facilités que la loi
« de 1854 permet d'exiger d'une compagnie doivent être
« dans la limite de ses pouvoirs, la division de l'Échiquier
« décida que, la compagnie de navigation n'ayant pas le
« droit d'abaisser ses tarifs, nous n'avions pu les abaisser
« nous-même. La question de droit fut donc tranchée contre
« nous. Il fut également décidé que la juridiction qui nous
« était accordée par l'article 11 de la loi de 1873, et le
« droit que nous avions de fixer des tarifs communs, ne
« pouvait être exercé que sous la réserve des droits acquis
« à l'égard des compagnies plaignantes, qu'elles fussent
« propriétaires ou chargées seulement de l'exploitation. Il
« fut décidé que dans l'espèce nous n'avions pu fixer des
« tarifs communs sans le consentement de la compagnie
« du chemin de fer de Londres et du N. O.

« Il a été interjeté appel de cette décision ; car, si l'ar-
« ticle 11 de la loi de 1873 ne pouvait être appliqué à une
« compagnie qui, quoique possédant et exploitant un che-
« min de fer et un canal, s'est engagée de façon ou d'autre
« à ne pas modifier ses tarifs, cet article deviendrait
« presque dérisoire. Jusqu'ici nous l'avons appliqué dans
« un sens tout différent.

« L'article 2 de la loi de 1854, oblige toute compagnie
« de chemin de fer ou de navigation à accorder au trafic
« commun à plusieurs compagnies toutes les facilités rai-
« sonnables ; et cette partie de l'acte ne reproduit plus les
« mots : « Conformément à leurs pouvoirs respectifs », qui,
« à notre avis, ne s'y rapportent en aucune façon, et sur
« lesquels s'appuie cependant la division de l'Échiquier.
« L'article 11 de la loi de 1873 décide que les facilités
« raisonnables mentionnées dans la loi de 1854 compren-
« dront les tarifs communs. Mais tandis que chacun peut
« intenter un procès à une compagnie pour la contraindre

« à accepter toute autre facilité raisonnable, la loi a dé-
« cidé en particulier, pour les tarifs communs, qu'ils ne
« pourraient être accordés qu'à la demande d'une com-
« pagnie de chemin de fer ou de navigation; et elle a établi
« certaines règles pour nous guider dans la fixation et la
« répartition de ces tarifs..... Mais nulle part elle ne nous a
« imposé « les pouvoirs respectifs des diverses compagnies »
« comme la limite que nous ne pouvions franchir dans la
« fixation de ces tarifs communs » (6e rapport, p. 3).

Nous avons cité tout au long, parce que ces quelques lignes nous paraissaient définir mieux que nous n'avons pu le faire les pouvoirs que la commission s'est attribués en matière de tarifs communs; et parce que le jugement de la division de l'Échiquier ouvre une nouvelle phase de la question.

Il reste à savoir si, en dernier ressort, les pouvoirs que la commission des chemins de fer s'est attribués seront reconnus, et, dans le cas où ils ne le seraient pas, ce que décidera le Parlement anglais dans deux ans.

Nous nous sommes efforcé dans le cours de cette réponse de citer textuellement les rapports de la commission et d'appuyer autant que possible nos appréciations de l'autorité des membres de la commission.

Nous pensons pouvoir dire, en terminant, que nous avons suffisamment justifié nos précédentes conclusions, peut-être au risque de les défendre trop longuement.

N° 45

NOTE

SUR

LA LARGEUR A DONNER AUX CANAUX

DANS LES COURBES

Par M. Charles MOCQUERY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Lorsque deux bateaux ont à se croiser dans une courbe, le règlement exige, si tous les deux sont chargés, que le bateau montant se range contre la rive de contre-halage pour laisser le passage libre du côté du halage au bateau descendant. Cette mesure se comprend aisément, car le bateau descendant marchant plus vite, le dégagement est plus rapide. Il en résulte que le bateau stationnant peut se trouver tantôt sur la rive convexe, tantôt sur la rive concave. Examinons ces deux cas (Pl. 25, *fig*. 5) :

Si le bateau stationnant se trouve sur la rive concave, il devra porter contre le talus par ses deux extrémités EF. Le bateau en marche devra, autant que possible rester tangent en son milieu A au talus de la rive convexe. Les points qui se rapprochent le plus du bateau arrêté seront les deux angles B et C. Il est facile de voir que si le bateau navigue comme il vient d'être dit, ces points décrivent le même cercle ayant OB pour rayon. Le moment où ils seront le plus près du bateau arrêté sera leur passage au point K sur la perpendiculaire OD abaissée du point O sur le milieu D du bateau stationnant. Le jeu réel sera donc l'intervalle DK et l'on comprend aisément qu'il devra être supérieur à celui

que l'on donne dans les alignements droits, car il est beaucoup plus difficile de manœuvrer correctement le bateau.

Si maintenant nous supposons au contraire que celui qui stationne est celui de la rive convexe, sa position la plus favorable est d'être tangent en son milieu A au talus du canal, absolument comme lorsqu'il navigue. Le bateau en marche devra de même manœuvrer de manière à maintenir ses deux angles EF sur le talus concave. Le moment le plus difficile sera celui où le milieu D du bateau en marche passera devant un des angles B ou C du bateau arrêté. Mais le point D décrit un cercle ayant OD pour rayon, le jeu sera donc la différence entre OD et OB, c'est-à-dire DK. Il sera par suite absolument le même que dans le premier cas. Donc toute largeur qui conviendra à l'un de ces cas conviendra nécessairement à l'autre.

Si maintenant nous appelons x la largeur cherchée, R le rayon de la courbe convexe, l la largeur de chacun des bateaux et L leur longueur, j le jeu, et f la flèche HK de l'axe dont la corde est BC et la rayon OB, nous aurons immédiatement, dans le triangle rectangle OEM

$$\mathrm{OE} = \sqrt{\overline{\mathrm{OM}}^2 + \overline{\mathrm{EM}}^2}.$$

Mais

$$\mathrm{OE} = x + \mathrm{R},$$

$$\mathrm{OM} = \mathrm{R} + 2l + j + f \quad \text{et} \quad \mathrm{EM} = \frac{\mathrm{L}}{2},$$

d'où

$$x + \mathrm{R} = \sqrt{(\mathrm{R} + 2l + j + f)^2 + \frac{\mathrm{L}^2}{4}};$$

mais on a de même

$$f = \sqrt{(\mathrm{R} + l)^2 + \frac{\mathrm{L}^2}{4}} - (\mathrm{R} + l),$$

d'où

$$(1) \qquad x = \sqrt{\left[l + j + \sqrt{(\mathrm{R} + l)^2 + \frac{\mathrm{L}^2}{4}}\right]^2 + \frac{\mathrm{L}^2}{4}} - \mathrm{R}.$$

Nous obtenons ainsi une relation entre x et R, résolue par rapport à x. En réalité, l'équation de la courbe est du quatrième degré par rapport aux deux variables. La branche qui répond au problème ne comporte que des valeurs positives de R et les deux radicaux doivent également être affectés du signe $+$.

Si nous faisons $R = 0$, l'équation devient :

$$(2) \qquad x = \sqrt{\left(l + j + \sqrt{l^2 + \frac{L^2}{4}}\right)^2 + \frac{L^2}{4}}.$$

c'est le cas d'un coude brusque. Il est facile d'obtenir directement cette valeur de x. Le bateau placé vers l'angle vif devra avoir son milieu A (Pl. 25, *fig.* 3) contre cet angle et être perpendiculaire à la bissectrice, s'il stationne. (En marchant, il pivoterait autour du point A).

La figure indique suffisamment que la largeur x doit être égale à $AE = AS = AF$, mais on a :

$$AE = \sqrt{\overline{AM}^2 + \overline{ME}^2},$$

et en remplaçant les lignes par leurs valeurs :

$$(2) \qquad x = \sqrt{\left(l + j + \sqrt{l^2 + \frac{L^2}{4}}\right)^2 + \frac{L^2}{4}}.$$

ce qui est précisément la valeur donnée par la formule générale.

Si maintenant nous donnons à R des valeurs successives positives allant en croissant, on remarquera aisément que x diminuera constamment. Enfin pour $R = \infty$, l'équation (1) se présentera sous la forme de l'indétermination. Mais si l'on remarque que sous le deuxième radical, le carré $\frac{L^2}{4}$ est négligeable devant $(R + l)^2$ qui est infini, ce radical devient $R + l$; de même $\frac{L^2}{4}$ dans le premier radical est aussi

négligeable, et celui-ci devient à son tour $2l+j+R$; en en retranchant R, il reste

$$x = 2l + j. \tag{3}$$

Cette solution est évidente *à priori*, car quand $R=\infty$, le canal est en ligne droite (*fig.* 4). Cela prouve que la branche de la courbe qui répond au problème a une asymptote parallèle à l'axe de R dont l'équation est précisément :

$$x = 2l + j.$$

D'après le type adopté, on a actuellement :

$$L = 38^{m},50 \quad \text{et} \quad l = 5 \text{ mètres}.$$

pour la longueur et la largeur des bateaux dans les canaux ordinaires.

En ligne droite, le jeu j varie de $0^{m},50$ à $0^{m},60$, mais en courbe, nous ne croyons rien exagérer en le portant à 1 mètre.

En admettant ces valeurs, nous avons pu calculer le tableau suivant donnant les valeurs de x pour des rayons compris entre les limites consacrées par la pratique.

VALEURS DE R.	VALEURS DE x.
	mètres.
0	32,26
75	15,35
100	14,38
150	13,33
200	12,77
300	12,20
450	11,81
600	11,61
800	11,46
1000	11,36
∞	11,00

La courbe (Pl. 25, *fig.* 6) représente ce tableau. Un coup d'œil jeté sur cette courbe montre une chute brusque de 0 à 200 mètres, une variation sensible de 200 à 600 mètres,

enfin une diminution insignifiante de la valeur de x au delà de ce chiffre. Cela démontre que dans les canaux nouveaux à établir : 1° il y a grand intérêt à ne pas dépasser 200 mètres pour le rayon de la courbe convexe au niveau du fond des bateaux chargés, c'est-à-dire à 0m,20 en contre-haut du busc des écluses; 2° qu'il faudra avoir soin de faire varier la largeur pour les courbes de 200 à 600 mètres; 3° qu'une largeur uniforme en courbe pourra être adoptée au delà de ce chiffre.

Dans les canaux existants, dont les écluses n'ont que 30 mètres de longueur de sas et dont les courbes ont été établies pour des bateaux de cette dimension, qu'il s'agit de porter au type nouveau de 38m,50, on n'est pas maître de modifier les rayons. Il est souvent tout aussi difficile de changer le chemin de halage de place, soit parce que l'on est pris dans une gorge étroite, soit parce que les acquisitions de terrains et les terrassements deviendraient trop coûteux. Dans ce cas, il faut agir sur les talus en les raidissant et les défendant par des revêtements, si cela devient nécessaire.

Prenons le canal de Bourgogne pour exemple :

Le canal de Bourgogne a été établi avec une largeur au plafond de 8m,75, à 0m,25 en contre-bas des buscs des écluses. Le mouillage primitif était de 1m,60 sur les buscs, soit 1m,85 en plein canal; la revanche des chemins de halage étant de 0m,60 et les talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur. On s'est peu préoccupé de l'élargissement dans les courbes, et il arrive fréquemment que cette largeur est insuffisante même aujourd'hui, avec des bateaux de 30 mètres seulement de longueur. Il en résulte que souvent le croisement de deux bateaux chargés est impossible dans les tournants un peu brusques, ou bien qu'il présente des difficultés telles, qu'il est rare qu'il n'en résulte pas une rixe entre les mariniers.

Depuis on a exhaussé le plan d'eau de 2m,20, sans rien

toucher au canal, et en se contentant de clouer des hausses sur les portes des écluses. Le mouillage a été porté de cette manière à $1^m,80$ sur les buscs, mais par contre la revanche des chemins de halage a été réduite à $0^m,40$. Aujourd'hui, l'on exhausse encore le plan d'eau de $0^m,20$, mais comme la revanche de $0^m,40$ ne saurait être réduite, il faut faire la même opération aux chemins de halage et élargir en même temps les courbes pour éviter les inconvénients signalés plus haut qui seraient considérablement aggravés par l'allongement des bateaux ($38^m,50$ au lieu de 30 mètres). Toutes ces opérations sont faites sans acquisitions de terrains, à cause de véritables impossibilités matérielles, le canal étant, dans les courbes raides, accolé d'un côté à des rochers presqu'à pic et de l'autre à la rivière.

Le fond des bateaux ne pouvant s'enfoncer au-dessous d'une ligne placée à $0^m,20$ en contre-haut des buscs, la largeur actuelle à ce niveau extrême est de $8^m,75 + 4 \times 0,45 = 10^m,55$, les talus étant à $\frac{2}{1}$. Si nous exhaussons le chemin de halage de $0^m,20$ (Pl. 25, *fig.* 7), et si nous réduisons le talus à $\frac{3}{2}$, la base du talus sera égale à $2,20 \times \frac{3}{2} = 3^m,30$ au niveau du fond des bateaux. Mais le talus actuel a une largeur de 2 mètres $\times\ 2 = 4$ mètres au même niveau; on gagnera donc $1^m,40$ en faisant l'opération sur les deux talus. La largeur serait ainsi $10^m,55 + 1,40 = 11^m,95$. Elle conviendra pour des rayons variant de ∞ à 400 mètres.

Si au lieu de porter les talus à $\frac{3}{2}$, ce qui a l'avantage de n'exiger aucun revêtement, on les raidit à 45° ou $\frac{1}{1}$, il faudra les recouvrir d'un perré, mais alors la base du talus n'aura plus que $2^m,20$ et on gagnera $1^m,80$ sur la largeur actuelle. En combinant d'abord un talus à $\frac{1}{1}$ avec un talus à $\frac{3}{2}$, le bénéfice sera de $2^m,50$ et la largeur obtenue sera de $13^m,05$. Elle conviendra jusqu'à 175 mètres de rayon. Enfin en portant les deux talus à 45°, on gagnera $3^m,60$, et on aura une largeur de $14^m,15$, acceptable jusqu'à 110 mètres.

Il y a au canal de Bourgogne des rayons qui n'ont que

75 mètres. Pour ce cas-là, il faut combiner un talus à 45° avec un mur de quai, auquel on donnera un fruit de 1 dixième.

Nous obtiendrons ainsi le tableau suivant :

RAYONS du côté convexe.		INCLINAISONS	
de	à	du talus convexe.	du talus concave.
mètres. ∞	mètres. 400	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$
400	175	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{2}$
175	110	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
110	75	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{1}$

On remarquera que l'on donne le talus le plus raide au côté convexe. Cela est plus avantageux pour la circulation et en même temps plus économique. Les talus raidis exigent en effet des revêtements coûteux, et le côté convexe est plus court que le concave.

Les inclinaisons du tableau qui précèdent sont subordonnées au cas où la largeur au plafond est actuellement la largeur normale ; dans le cas où elle est déjà supérieure, il va sans dire que l'on adopte des talus moins raides.

Cet exemple suffit pour indiquer l'application de la théorie qui précède.

Dijon, le 12 janvier 1880.

N° 46

OBSERVATIONS

SUR

UNE NOTE DE M. L'INGÉNIEUR EN CHEF DE LABRY

RELATIVE A L'UTILITÉ DES TRAVAUX PUBLICS

Par M. DOUSSOT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Dans une note très intéressante publiée dans le cahier des *Annales des ponts et chaussées* du mois de février 1880, M. l'ingénieur en chef de Labry expose une théorie nouvelle — du moins pour nous — non pas sur la mesure de l'utilité des travaux publics, mais sur le degré d'utilité qu'ils doivent présenter pour être rémunérateurs et mériter à ce titre d'être exécutés par l'État.

Cette théorie est très ingénieuse, mais elle repose sur des bases qui nous paraissent être en contradiction formelle avec les vrais principes de l'économie politique, tels du moins que nous les avons toujours compris, et les conséquences qu'en tire M. de Labry nous semblent inacceptables.

Nous demandons la permission de présenter à ce sujet quelques courtes observations.

Suivant nous, toutes les fois qu'un travail quelconque exécuté par l'État rapporte au public, à la société, un profit annuel supérieur à l'intérêt de la dépense, augmenté des frais d'entretien, ce travail est *utile*, dans la véritable acception du mot, en ce sens qu'il a pour effet d'augmenter a richesse publique.

Ce principe nous paraît incontestable ; mais nous nous

hâtons d'ajouter qu'il ne suffit pas qu'un travail soit utile pour qu'il soit immédiatement et nécessairement entrepris.

Il faut d'abord, et avant tout, que l'État prélève sur son budget des recettes les sommes nécessaires pour assurer tous les services publics, savoir : le payement des rentes et pensions, l'entretien des forces de terre et de mer, l'administration proprement dite, la justice, la police, l'instruction publique, l'entretien des voies de communication, etc. Puis, quand ce prélèvement est effectué, on doit classer par ordre d'utilité tous les travaux à faire pour compléter, suivant une expression plus ou moins heureuse, *l'outillage national*, et les exécuter dans cet ordre, en se maintenant tous les ans dans la limite des ressources disponibles.

Il est bien entendu que nous ne parlons ici que d'une manière générale, et que dans certains cas, nombreux même, des considérations autres que l'utilité proprement dite, au sens économique du mot, peuvent influer sur l'urgence des travaux. Si, par exemple, une route ou un chemin de fer sont destinés à apporter le bien-être, la civilisation, et pour ainsi dire la vie dans une région pauvre et déshéritée, il est clair qu'ils doivent primer certains autres travaux, *d'un produit supérieur*, mais qui seraient exécutés dans les contrées riches et prospères. Il y a là une question de solidarité et de justice distributive dont il faut tenir compte dans chaque cas.

On trouvera peut-être que nous employons un mot bien élastique en disant que l'on doit se maintenir tous les ans dans la limite des ressources disponibles. Rien n'est si facile, en effet, que de reculer cette limite au moyen des emprunts, surtout dans un pays comme le nôtre, dont le crédit est, pour ainsi dire, illimité. Nous le reconnaissons; mais nous avons supposé en parlant ainsi, que le budget serait préparé par un gouvernement sage et prudent qui, d'abord, n'entreprendrait que des travaux d'une utilité

parfaitement démontrée, et qui en second lieu, proportionnerait leur exécution aux forces financières du pays. Nous ajouterons que l'État doit se borner à l'exécution des travaux d'intérêt général et laisser, pour la plus grande partie du moins, à la charge des départements, des communes, des syndicats, etc., ceux qui présentent surtout un caractère d'intérêt local.

Voilà, suivant nous, les vrais principes qui doivent guider les ingénieurs et le gouvernement dans l'exécution des travaux publics. Nous croyons être d'accord sur ce point avec M. l'ingénieur en chef Lechalas, dont M. de Labry cite l'opinion dans son mémoire. M. Lechalas dit, en effet, en parlant des routes : « une rectification ne serait pas « utile, dans le vrai sens du mot, si le profit annuel du « commerce n'était pas supérieur à l'intérêt du montant « des travaux ; il faut même un profit très supérieur pour « que le travail soit à faire, *car il ne manque pas de dé- « penses d'intérêt public pour lesquelles on est assuré d'ob- « tenir de gros rendements.* » C'est-à-dire, en d'autres termes, qu'un travail est *utile* quand il rapporte au commerce un produit annuel supérieur à l'intérêt de l'argent dépensé ; mais qu'on ne doit l'entreprendre que lorsque son utilité est supérieure à celle des autres travaux que l'on pourrait exécuter avec le même argent. Nous sommes entièrement de cet avis.

La théorie de M. de Labry repose sur une base toute différente. Il part de ce principe qu'un travail n'est utile et ne doit être entrepris par l'État que lorsqu'il rapporte, non pas au public, mais au Trésor, un produit supérieur à l'intérêt des sommes dépensées. Pour prouver la justesse de ce principe, M. de Labry adresse à l'opinion contraire la critique suivante : « La recette du budget, dit-il, qui « est le revenu de l'État, est d'environ 2.800 millions de « francs. Si, par impossible, l'État affectait par an ces « 2.800 millions de francs à réduire d'autant les frais de

« l'industrie des transports, le public bénéficierait de ces « réductions, mais l'État n'aurait plus rien pour faire face « à ses autres services ; il serait ainsi dans un déficit « complet, et l'opération qui l'aurait conduit à un tel ré- « sultat serait tout à fait erronée et déplorable. La for- « mule posée par Favier et par J.-B. Say — c'est celle que « nous défendons — n'est donc pas exacte. »

M. de Labry ne voit-il pas que l'on pourrait faire un raisonnement absolument identique contre son système? Que deviendraient en effet, nous le demandons, et l'armée, et la marine, et la justice et tous les autres services, si l'État employait exclusivement le total de son revenu à des travaux publics, même en admettant que ces travaux rapportassent 5 p. 100, 10 p. 100, 100 p. 100 même, si l'on veut, au Trésor? C'est exactement comme si un particulier ayant 20.000 francs de rente, les plaçait intégralement à 5, à 10, à 100 p. 100, sans se rien réserver. Sa fortune croîtrait rapidement, mais, en attendant, il mourrait de misère et de faim.

La critique de M. de Labry ne prouve donc rien, ni contre le principe qu'il attaque, ni en faveur de celui qu'il défend.

« La vraie règle, ajoute cet ingénieur, est celle-ci : un « travail est rémunérateur s'il rapporte l'intérêt courant, « non pas à celui qui en use, mais à celui qui le paye. »

Cette règle est parfaitement vraie. Elle l'est évidemment quand les travaux sont faits par un particulier, un entrepreneur ou une compagnie. Elle l'est aussi quand il s'agit de l'État; seulement, dans ce cas, M. de Labry l'applique mal. Cet ingénieur voit dans l'État deux personnes distinctes et ayant, pour ainsi dire, des intérêts différents : l'une, composée de l'universalité des citoyens, qui use des travaux, et l'autre, le Gouvernement, qui les exécute, les paye de sa bourse et doit en profiter.

C'est là, à notre avis, une erreur complète. Non, dans

l'État il n'y a pas deux personnes, il n'y en a qu'une : c'est la nation, le pays, qui travaille, échange, produit et consomme, et qui prélève tous les ans sur sa fortune, sous forme d'impôts, les sommes nécessaires pour sauvegarder son existence, défendre ses intérêts et augmenter sa fortune elle-même. Quant au gouvernement, il n'a pas d'existence propre, il n'a ni fortune, ni besoins personnels. C'est un simple gérant que la société charge de recevoir les impôts et de les employer au mieux de ses intérêts, non pas à lui — il n'en a pas — mais à elle, société.

Ce n'est donc pas le gouvernement, mais la société qui paye les travaux publics; et, dès lors, la règle de M. de Labry, fausse telle qu'il l'applique, devient parfaitement vraie et s'accorde avec le principe que nous défendons. Elle le justifie pleinement.

Il ne faut pas croire, du reste, qu'il y ait, ainsi que semble l'admettre M. de Labry, une corrélation, une proportionnalité directe entre l'impôt et la fortune publique. Pour le prouver, il suffit de rappeler qu'après la guerre désastreuse de 1870, qui a porté une si rude atteinte à la fortune de la France, le chiffre des impôts s'est accru brusquement de plus de 700 millions. Non, ce qui croît et diminue avec la fortune publique, ce n'est pas l'impôt, mais bien la faculté, la possibilité de le payer. Quant à l'impôt, il varie en raison directe des besoins du pays, et l'on conçoit très bien que ces besoins puissent non seulement ne pas augmenter, mais même diminuer quand la richesse publique augmente.

Portons-nous, en effet, par la pensée à quinze ou vingt ans au delà du moment présent. Supposons que l'on ait exécuté, non pas tous les travaux, chemins de fer, canaux de navigation, ports de commerce, etc., dont le programme a été récemment adopté par les Chambres législatives, mais, parmi ces travaux, ceux dont une étude approfondie aura prouvé la réelle utilité, et que cette vaste opération ait

produit sur la fortune publique l'immense accroissement que l'on est en droit d'en attendre. Supposons, en second lieu, que par suite de quelque grand revirement dans la politique générale, l'équilibre de l'Europe, qui est encore si instable, ait acquis une stabilité complète, et qu'en présence d'une paix assurée, on ne soit plus obligé de maintenir sur pied les armées nombreuses d'aujourd'hui. Que se passera-t-il alors, nous le demandons? N'est-il pas clair, d'une part, que les budgets de la guerre et des travaux publics diminueront considérablement, que l'on pourra, par suite, opérer de sérieux dégrèvements d'impôts, et que cependant, d'un autre côté, la richesse publique se sera accrue dans de grandes proportions.

Nous ne pousserons pas plus loin cette discussion. Nous croyons en avoir assez dit pour être en droit de conclure que les travaux exécutés par l'État ont exclusivement pour but l'augmentation de la fortune publique; qu'ils sont *utiles* quand leur produit annuel est supérieur à l'intérêt courant de la dépense, augmenté des frais d'entretien; et enfin qu'on doit les entreprendre en suivant leur degré d'utilité, sous la réserve toutefois des restrictions dont nous avons parlé plus haut.

Montargis, le 8 mai 1880.

N° 47

L'OUTILLAGE NATIONAL ET LA DETTE DE L'ÉTAT.

RÉPLIQUE A M. DOUSSOT

Par M. DE LABRY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le sujet du « profit des travaux » que j'ai tâché de traiter avec une grande simplicité dans une *Note* insérée aux *Annales des ponts et chaussées* du mois de février 1880 est en réalité très compliqué, car il s'étend non seulement à toute la question économique des travaux publics, mais encore à celle des impôts et à celle des dettes publiques. Notamment en ce qui touche l'État, la répartition de la production totale de la nation en frais et en produits nets, puis en consommations improductives et en placements productifs, — les modes de perception et les effets des divers impôts directs et indirects, — les résultats des combinaisons de subventions données par l'État, de péages ou de contributions spéciales perçues par lui, — les suites des variations du taux de l'intérêt, — le fonctionnement des dettes flottantes et des dettes consolidées, peuvent donner lieu à des considérations qui différencieraient les cas à étudier et compliqueraient l'exposé de la matière presque indéfiniment.

En réduisant extrêmement cet exposé, devais-je espérer que j'amènerais à mon avis tous les lecteurs? La réponse à cette demande résultera des lignes suivantes écrites par le plus grand des logiciens français, Blaise Pascal : « Pour « démontrer les vérités déjà trouvées et les éclairer de « telle sorte que la preuve en soit invincible, la véritable

« méthode qui formerait les démonstrations dans la plus « haute excellence, s'il était possible d'y arriver, consiste- « rait en deux choses principales; l'une de n'employer « aucun terme dont on n'eût auparavant expliqué nette- « ment le sens; l'autre de n'avancer jamais aucune pro- « position qu'on ne démontrât par des vérités déjà connues, « c'est-à-dire en un mot à définir tous les termes et à prou- « ver toutes les propositions (*). » Or, afin d'exprimer des idées un peu nettes, j'ai beaucoup abrégé et beaucoup omis, et je me suis ainsi bien écarté de ces préceptes du maître. Il est donc naturel que je sois contredit. Pour comprendre un travail aussi incomplet, il faut le lire avec un esprit favorable, avec le désir d'y trouver exactitude et bon sens; si on le parcourt avec une tendance critique, les difficultés et les invraisemblances naîtront pour ainsi dire à chaque phrase.

Mon honorable et bienveillant collègue, M. Doussot, n'a guère relevé dans ma *Note* que les parties concernant les grands travaux publics exécutés par l'État et destinés à compléter ce qu'on appelle *l'outillage national*; c'est en conséquence à cette catégorie de travaux que se rapportera spécialement la présente réplique.

Pour les travaux de cet ordre, ma *Note* aboutissait aux conclusions suivantes : « Un travail exécuté aux frais de l'État est rémunérateur pour l'État, quand il lui rapporte l'intérêt courant de sa dépense, et, s'il a été payé au moyen d'un emprunt, l'intérêt de cet emprunt. Lorsque l'État ne perçoit pas, pour un tel travail, de péage ou de contribution spéciale, son profit consiste dans un accroissement des impôts préexistants qui résulte de l'accroissement de la production nationale. La considération du profit à obtenir ainsi par l'État est une de celles dont on doit tenir compte dans l'étude des projets de travaux publics. »

(*) Pascal, *Pensées*, I[re] partie, art. 11.

Les deux principales objections de M. Doussot me paraissent pouvoir se résumer ainsi : 1° en matière de travaux publics, il ne faut pas établir de distinction entre la nation et l'État ; 2° il suffit que les travaux publics rapportent à la nation l'intérêt courant de leur dépense augmenté des frais d'entretien, et il n'y a pas lieu de rechercher s'ils rapporteront un tel intérêt à l'État.

Le premier point est très important, car c'est précisément sur la distinction à établir, dans le cas présent, entre la nation et l'État qu'ont été basés mes raisonnements. Que l'on m'excuse donc si j'insiste pour expliquer le sens que j'ai donné à cette distinction et pour la justifier !

On lit dans le Dictionnaire de l'Académie française, édition de 1878 : « État se dit d'un peuple en tant qu'il est « constitué en corps de nation. » — « L'État signifie aussi « le gouvernement, l'administration d'un pays, d'une so- « ciété politique. » C'est dans cette deuxième acception que j'ai employé le mot « État » ; il est donc dans ma *Note* synonyme de « Gouvernement » ; et c'est dans ce sens qu'il doit être pris par le lecteur.

Or, d'après la constitution du 15 février 1875, le gouvernement de notre pays se compose maintenant de deux assemblées législatives qui sont la Chambre des députés et le Sénat, puis du président de la République investi du pouvoir exécutif, et des fonctionnaires civils et militaires auxquels il délègue ce pouvoir. Bien que les éléments de ce gouvernement se renouvellent sans cesse, et lors même qu'il subirait des transformations continues ou discontinues, sa fonction durera tant qu'existera la nation, et il y aura solidarité financière entre les pouvoirs qui, par substitutions successives, exerceront régulièrement cette fonction.

L'institution ainsi formée peut être distinguée de la nation entière ; c'est ainsi que la tête d'un homme peut être distinguée du corps entier, tout en faisant partie de ce corps. La tête n'est qu'un organe du corps et son existence

est comprise dans l'existence du corps entier; cependant l'action et la santé de la tête ont leurs conditions spéciales et peuvent être utilement l'objet d'une étude distincte. On ne méconnait pas la corrélation qui existe entre la tête et tout le corps, en affirmant que la tête doit être valide et en recherchant les procédés et les précautions qui pourront la maintenir en cette disposition.

Le Gouvernement ou l'État subvient aux offices dont il est chargé au moyen de sommes perçues sur les citoyens à titre d'impôts, et dont le total, appelé budget des recettes de l'État, est voté chaque année par les deux Chambres pour l'année ou l'exercice suivant. Chaque élément des impôts est prélevé sur le revenu d'un des citoyens de la nation; mais l'ensemble des impôts ou le budget des recettes qui forme le revenu annuel de l'État est distinct de l'ensemble des revenus des citoyens, qui forme le revenu général de la nation.

J'ai donc été en droit d'entendre le mot d'État dans le sens qui vient d'être indiqué, de distinguer l'un de l'autre la nation et l'État, puis le revenu général de la nation ou du public et le budget de l'État.

Outre les dépenses spéciales à l'exercice courant, le budget des recettes doit payer le montant des engagements antérieurement contractés par l'État sur les exercices futurs, soit pour l'intérêt d'emprunts reçus par lui, soit pour des annuités acquittant des dépenses déjà faites ou des services déjà rendus; l'ensemble de ces engagements constitue la dette de l'Etat qu'on nomme aussi la dette publique, tandis que les arrérages annuels de cette dette s'appellent rentes de l'État.

Est-il sans importance que les grands travaux publics soient rémunérateurs pour l'État? — M. Doussot paraît admettre que l'État paye ces travaux au moyen des excédants libres de ses budgets des recettes, après avoir prélevé sur ces budgets les sommes nécessaires pour assurer les divers

services publics, et « en se maintenant tous les ans dans « la limite des ressources disponibles ». Il semble mentionner, seulement à titre accessoire, que « rien n'est si « facile que de reculer cette limite au moyen des em- « prunts », et il n'examine pas les effets de ces travaux sur la dette de l'Etat : or, ces effets constituent le point essentiel de la question.

Ainsi deux lois ont été récemment votées pour l'achèvement de notre *outillage national*. L'une, du 17 juillet 1879, concerne les chemins de fer, l'autre, du 5 août 1879, concerne les voies intérieures navigables. L'exposé du projet de la première de ces lois, présenté à la Chambre des députés par le ministre des travaux publics le 4 juin 1878, et un rapport sur la seconde, adressé par le même ministre au président de la République le 16 janvier 1878, évaluent les dépenses à faire dans le délai de dix ans à 3 milliards 200 millions pour les chemins de fer et à 1 milliard pour les voies navigables — total : 4 milliards 200 millions. Pour fournir à ces dépenses, une autre loi datée du 11 juin 1878 autorise l'institution, au grand-livre de la dette publique, d'une section nouvelle consacrée à l'émission de rentes 3 p. 100 amortissables. L'exposé de cette dernière loi, présenté à la Chambre des députés par M. Léon Say, ministre des finances, le 7 février 1878, s'exprime ainsi : « Cette loi de principe a pour objet de « créer l'instrument financier destiné à faire face aux « grands travaux publics que le gouvernement projette « d'exécuter pendant une dizaine d'années, et qu'il sou- « mettra successivement à votre approbation. » C'est donc par des emprunts, et non par des excédents de recettes sur les budgets annuels, que seront payés les grands travaux publics dont il s'agit.

D'ailleurs, quand un État est, comme le nôtre, chargé d'une dette considérable, l'affectation d'un excédent important des recettes du budget à un travail public non in-

dispensable ne doit pas être considérée comme étant sans influence sur cette dette. En effet l'État pourrait employer cet excédent de recettes à l'amortissement d'une partie de sa dette; ainsi, dans ce cas même, au lieu de produire directement, par la voie de l'emprunt, une augmentation de la dette de l'État, le travail public empêche une diminution de cette dette; par suite les effets de l'un ou de l'autre modes d'exécution sont au fond analogues. Un grand travail public exécuté aux frais de l'État, dans les conditions où se trouve notre pays, a donc pour premier effet de causer, directement ou indirectement, une augmentation de la rente due par l'État. Mais que se passera-t-il ensuite?

Il est possible qu'un péage ou un impôt spécial perçu par l'État sur les individus qui usent de ce travail, ou une augmentation spontanée des impôts préexistants provenant du développement donné par ce travail à la production, rapporte au budget un profit annuel égal ou supérieur à l'accroissement des rentes d'État causé d'abord par la construction de l'ouvrage. Dans cette éventualité l'exécution du travail laissera l'État indemne ou lui rapportera un bénéfice; puis, soit par le moyen immédiat d'un remboursement ou d'un rachat de rente, soit par le procédé d'un dégrèvement d'impôts urgent, fécond, et conduisant finalement au même but, ce gain équivaudra pour l'État à une diminution de sa dette. Si, au contraire, le profit annuel tiré du travail public par le budget est inférieur à l'intérêt du prix payé par l'État pour la construction, la différence entre ce profit et cet intérêt formera chaque année un déficit s'ajoutant à la dette de l'État.

Ainsi, en général, la construction d'un travail public par l'État a pour conséquence définitive d'équivaloir, si ce travail est rémunérateur pour l'État, à un amortissement de la dette de l'État, et, s'il ne l'est pas, à un accroissement de cette dette.

Or, quelles sont les conséquences d'une augmentation

prolongée et excessive de la dette de l'État? On y subvient d'abord en aggravant le taux des impôts existants ou en établissant de nouveaux impôts. Mais les perceptions des taxes finissent par devenir de plus en plus pénibles pour les contribuables et difficiles pour le fisc. A un certain moment, les nouvelles tentatives pour augmenter le rendement de l'impôt deviennent infructueuses; suivant une expression adoptée, « la matière imposable est épuisée. » Il faut alors réduire les dotations annuelles des services publics ou réduire les arrérages des rentes que doit payer l'État. On essaye bien du premier moyen, ou plutôt on en parle; mais, comme les services publics sont la vie même de l'État et que la nécessité de vivre est supérieure à celle de payer ses dettes, on se résout au second moyen. En tâchant de donner à l'opération un titre ou une couleur plus ou moins admissible, l'État réduit les intérêts qu'il avait avec solennité promis de payer intégralement, ce qui constitue sa faillite partielle, ou il les supprime complètement, ce qui constitue sa banqueroute complète.

Ce n'est point là un tableau de fantaisie : nous avons eu maintes fois, à des époques récentes, le réel spectacle de telles crises. Pour ne citer que les grands pays, nous avons vu les intérêts des rentes d'État réduits de 16 p. 100 par l'Autriche en 1868, de 13,20 p. 100 par l'Italie en 1870, des deux tiers par l'Espagne en 1877, et complètement supprimés par la Turquie en 1876. A cette liste combien pourraient s'ajouter de faillites partielles ou totales, déclarées naguère par de petits Etats : Mexique, Honduras, Pérou, Égypte, etc.?

On se tromperait si, d'après la doctrine qui n'admet pas de distinction entre la richesse de l'État et celle de la nation, on considérait comme synonymes la faillite du gouvernement et la ruine du pays. La question de l'honneur financier et de la foi jurée par les représentants de la patrie étant mise à part, la nation ne perd par cette faillite

de l'État ni ses richesses intérieures immobilières, ni les créances de ses citoyens sur l'extérieur; elle conserve ses diverses industries agricoles, minières, manufacturières, commerciales; elle bénéficie même de la suppression des arrérages que l'Etat payait aux étrangers, tandis qu'à l'intérieur du pays la perte du rentier est compensée par le bénéfice du contribuable. Il suffit d'un court voyage en Autriche, en Italie, ou en Espagne, pour reconnaître que la nation y est prospère, bien que l'État s'y déclare impuissant à servir entièrement les arrérages de sa dette, et qu'en outre il se trouve en déficit dans tous ses budgets successifs.

Pendant longtemps les faillites d'État ont été considérées comme des actes d'administration intérieure qui n'étaient pas de nature à motiver l'intervention de puissances étrangères. Mais récemment, et pour une notable part sur l'initiative de la France, une autre tendance s'est manifestée dans l'application du droit des gens; une guerre a été faite au Mexique, nous savons avec quelles fatales conséquences, pour l'obliger à payer ses dettes d'État; des commissions internationales ont été imposées aux gouvernements de Tunis et d'Égypte, afin de les astreindre à l'acquittement de leurs rentes. Les États doivent donc craindre aujourd'hui que l'inexécution de leurs engagements financiers n'amène chez eux l'immixtion de l'étranger. Ceux-là surtout qui ont pris l'initiative de mesures de contrainte envers les gouvernements débiteurs infidèles se trouveraient en certaines circonstances avoir justifié contre eux l'application de l'adage *Patere legem quam ipse fecisti.*

Nous venons de jeter un coup d'œil sur les finances de peuples parmi lesquels se trouvent de nos voisins, mais pour la France même quel a été, dans la période actuelle de son histoire, le sort de sa dette d'État?

L'ancien régime avait chargé l'État de dettes dont les arrérages annuels, perpétuels ou viagers, s'élevaient environ

à 174 millions. A partir de 1789, de grands efforts furent tentés pour acquitter ces rentes. Mais bientôt, pour essayer des palliatifs aux embarras qu'elles causaient, on proposa à l'Assemblée nationale de surseoir aux payements, d'effectuer ces payements en papier-monnaie, d'imposer les rentes. En 1790, Mirabeau défendait les droits des créanciers de l'État par les paroles suivantes (*) :

« Les rentiers, au lieu de nous confier leurs capitaux, « en auraient pu faire toute autre disposition; les destiner « à des entreprises, les prêter à des manufacturiers, à des « commerçants, enfin les employer de manière qu'ils n'eussent été exposés à aucune réduction. Mais ils se confient « à notre gouvernement, ils mettent leur fortune dans nos « mains à des conditions déterminées, et, par cela seul que « nous en sommes les dépositaires, on veut que nous profitions de cette circonstance pour en retenir une partie « sous le nom d'imposition. Quand les créanciers ont aliéné « leurs fonds dans l'acquisition de rentes, ç'a été sous des « conditions qu'ils ont regardées comme inviolables. Or, « une de ces premières conditions, c'est qu'en aucun cas et « pour aucune cause il ne serait fait de retenue sur ces « rentes. Entre contractants de bonne foi, les engagements « se remplissent selon les termes dans lesquels ils ont été « formés; quand l'un des contractants s'y refuse, la loi le « force, à moins que ce contractant lui-même ne fasse la « loi; alors c'est l'opinion publique qui le juge, et la réputation de tyrannie est la flétrissure qu'elle lui imprime.

« Il ne s'agit pas moins que de démentir et d'effacer nos « déclarations les plus solennelles sur la foi publique. Je « vois déjà le ministre des finances venir dolemment nous « présenter un nouveau certificat de notre ruine et nous

(*) Mirabeau, séances de l'Assemblée nationale du 27 août, du 24 octobre et du 3 décembre 1790.

« proposer ce qui ne pourra même pas nous sauver au prix « de la honte, ce que nous avons repoussé avec tant d'hor- « reur, mais ce qui nous atteindra enfin et nous envelop- « pera malgré nous; ce que je n'ose même nommer, tant « ce nom seul doit révolter cette Assemblée.

« Mais, messieurs, ne pas prévenir cette terrible catas- « trophe, c'est la vouloir, et qui de vous pourrait souffrir « d'être entaché d'un si noir soupçon? »

Toute la France honnête avait partagé le sentiment avec lequel Mirabeau repoussait ainsi le nom même de la banqueroute. Cependant, en 1797, la loi du 24 frimaire an VI ordonnait une réduction des deux tiers sur la dette de l'Etat, sous prétexte de consolider le dernier tiers; cette opération réduisit la dette totale, soit perpétuelle, soit viagère, à une rente de 40.216.000 francs. Aujourd'hui le montant annuel de notre dette d'Etat résulte des chiffres suivants, extraits du budget pour l'exercice 1881 :

« *Budget ordinaire des dépenses de* 1881. — Ministère « des finances, 1re section.

	fr.
Dette consolidée.	743.936.499
« Annuités dues par l'État pour capitaux rembour- « sables à divers titres.	323.550,683
« Dette viagère (Pensions de retraite, etc.).	140.689.552
Ensemble.	1.208.176.734

L'ensemble de la rente annuelle due par l'Etat français se trouve ainsi trente fois plus considérable qu'après la consolidation de 1797; cette énorme progression de notre dette d'Etat s'est accomplie en quatre-vingt-trois années.

La période séculaire nous séparant de la banqueroute de 1797 se terminera en 1897, c'est-à-dire dans dix-sept ans. Or, si l'on remonte au budget qui précédait l'exercice actuel de dix-sept années ou bien au budget pour 1863, on voit sur ce document, pour la même dette, les mentions suivantes :

	fr.
« Dette consolidée (sans comprendre les fonds d'amor- « tissement)	315.483.311
« Emprunts spéciaux pour canaux, chemins de fer « et travaux divers	27.943.627
« Annuités pour capitaux remboursables à divers « titres	53.360.832
« Dette viagère	74.696.267
Ensemble	471.484.037

Ainsi, de 1863 à 1880, en dix-sept années, les arrérages de notre dette d'État se sont élevés de 471 millions à 1 milliard 208 millions. Si, dans les dix-sept années qui vont s'écouler, ils croissaient dans la même proportion, ils atteindraient, en 1897, 3 milliards 98 millions, représentant à 5 p. 100 un capital de 62 milliards, et formeraient alors une dette dix-huit fois plus considérable que celle de 174 millions de rente dont le poids a écrasé la monarchie de Louis XVI. Quel redoutable fardeau ! Espérons que dans les dix-sept années prochaines notre pays ne subira pas le retour des malheurs dont il a été frappé dans la dernière durée égale !... Mais une telle progression de charges ne doit-elle pas éveiller notre sollicitude, quand il s'agit d'augmenter notre dette d'État ? Plutôt que de se laisser leurrer par des phrases ingénues sur le désarmement général de l'Europe et sur un avenir de prospérités utopiques, il convient d'accepter virilement pour l'avenir les leçons données par le passé.

Il faut donc reconnaître qu'un accroissement sans compensation et sans mesure de notre dette d'État pourrait causer des atteintes à notre honneur financier et des troubles dans nos relations internationales. En conséquence, il faut savoir établir une distinction entre des travaux publics non rémunérateurs pour l'État, qui augmenteraient cette dette, et des travaux publics rémunérateurs pour l'État, qui équivaudront à la diminuer.

La condition que les ouvrages payés par l'État soient rémunérateurs pour lui a d'ailleurs été admise dans le

grand programme de travaux publics qu'a récemment indiqué à l'activité nationale un ministre éminent. En effet, considérons les 17.000 kilomètres de chemins de fer que le projet de loi présenté à la Chambre des députés, le 4 juin 1878, a proposé de classer au réseau complémentaire d'intérêt général, et de construire en dix ans. L'exposé joint à ce projet et signé par M. de Freycinet admet que la recette brute perçue sur ces chemins de fer sera égale aux frais d'exploitation, mais que ces voies, comparées aux routes actuelles de terre, procureront au public, sur le transport parcourant leurs rails, une économie annuelle de 28.000 francs par kilomètre, qui s'élèvera pour les 17.000 kilomètres à 476 millions. Il évalue la dépense à faire pour la construction de ces chemins de fer à 3 milliards 200 millions, sur lesquels 1 milliard 700 millions seulement resteront définitivement à la charge de l'État, puis il s'exprime ainsi : « C'est donc à 1 milliard 700 millions seu-
« lement que s'applique le revenu de 28.000 francs par
« kilomètre (ou de 476 millions pour les 17.000 kilomètres
« à ouvrir) que nous énoncions tout à l'heure comme
« représentant l'économie réalisée par le pays sur ses
« transports. Une telle économie, ou, si l'on préfère, un
« tel bénéfice, déterminera nécessairement dans le rende-
« ment des impôts des plus-values qui permettront d'as-
« surer et au delà le service des 1 milliard 700 millions
« engagés. Il suffira, pour cela, d'un accroissement de
« 85 millions en dix ans, ou de 8 millions et demi par an,
« chiffre bien peu important, on le reconnaîtra, en présence
« de l'immense développement que l'achèvement du réseau
« est destiné à imprimer à la production nationale. » Et dans un renvoi inscrit au bas de la page, cet exposé ajoute :
« Nous ne parlerons pas d'un élément fort important, c'est
« le chiffre des impôts prélevés, sous diverses formes, sur
« les chemins de fer eux-mêmes. » Or, en adaptant à ces données les expressions employées dans ma *Note* publiée

en février 1880, on peut les énoncer de la manière suivante. Les 476 millions d'économie réalisés sur les transports mesureront *l'utilité directe* résultant du projet pour le public ; le développement imprimé par l'achèvement du réseau des chemins de fer à la production nationale constituera *l'utilité indirecte* de ce projet pour le pays ; l'ensemble de ces deux utilités, directe et indirecte, sera *l'utilité générale* de l'œuvre pour la nation ; les 85 millions d'accroissement des impôts causés par cette utilité générale formeront *le profit de l'État*, profit qui sera égal à l'intérêt à 5 p. 100 des 1 milliard 700 millions mis à la charge de l'État par la construction du réseau complémentaire de nos voies ferrées.

Ce passage de l'exposé du ministre est donc conforme aux idées indiquées dans ma *Note;* particulièrement il établit une distinction entre la nation et l'État et il exprime que le travail projeté devra rapporter l'intérêt de sa dépense, non pas à la nation, mais à l'État : il est donc une réfutation des deux principales objections de M. Doussot. Cet ingénieur distingué a déclaré au début de ses observations que la théorie indiquée dans la *Note* précitée est nouvelle pour lui, et lui paraît contraire aux principes de l'économie politique, tels du moins qu'il les a toujours compris. Par le document officiel qui vient d'être reproduit, il peut voir que cette théorie, déjà exposée par moi en 1875 (*), n'est plus nouvelle pour tout le monde.

Après cette réponse relative aux deux points fondamentaux, je passerai rapidement sur des observations secondaires de mon collègue.

Il semble me demander ce que deviendraient les services de l'État autres que celui des voies de communication, si l'État dépensait la totalité de son budget à des travaux publics rapportant même 100 p. 100 au Trésor. J'ai été si loin

(*) Dans le *Journal des économistes* de novembre 1875, p. 30[illegible].

de présenter une telle opération comme désirable, que je crois pouvoir me borner à dire : elle n'aurait pas plus mon suffrage que celui de mon collègue.

Plus loin il s'exprime ainsi : « Non ! ce qui croît et dé-« croît avec la fortune publique, ce n'est pas l'impôt, mais « bien la faculté, la possibilité de le payer. » Il est très vrai qu'une nation devenue plus riche est capable de payer plus d'impôts. Mais, d'un autre côté, il est bien clair que, si les produits annuels d'une industrie quelconque s'accroissent, le rendement des impôts déjà établis sur ces produits s'accroîtra aussi. De là résulte qu'avec l'ensemble de la production nationale et par conséquent avec la richesse publique croît et décroît le rendement général des impôts préexistants.

Répéterai-je enfin que les calculs financiers peuvent être balancés et primés par les convenances et par les nécessités politiques ou militaires ?

Si les perspectives un peu sombres que j'ai indiquées détournaient certains esprits des travaux publics, j'imiterais ce bon prêtre qui avait prêché la Passion de Jésus-Christ avec une éloquence très véhémente. Entendant ses paroissiens éclater en cris de compassion et en sanglots, il craignit de leur avoir causé trop de douleur, et leur dit : « Après tout, mes chers frères, ne pleurez pas tant ; « peut-être Notre Seigneur n'a-t-il pas souffert autant que « je l'ai dit. » Pour atténuer aussi l'effet produit, je dirai : Des dangers auxquels une augmentation imprudente de notre dette d'État exposerait l'honneur et peut-être la sécurité de la France, ne concluez pas qu'il faille apporter à la construction des travaux publics par l'État une réserve excessive : souvenez-vous que le monde appartient aux optimistes et aux hommes d'action ; mais, parmi divers projets étudiés, choisissez, sauf raisons contraires, comme devant être exécutés par l'État ceux qui vous paraîtront rémunérateurs pour lui.

N° 48

NOTE

SUR

LA VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES VOUTES

Par M. CUNQ, Chef de section aux chemins de fer du Midi.

Exposé.

M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des Ponts et Chaussées, a donné, en 1867, une remarquable théorie sur la vérification de la stabilité des voûtes. Il a précisé le rôle des courbes des pressions, et il a indiqué, par des constructions géométriques, quelles sont toutes les courbes des pressions compatibles avec l'équilibre et avec la résistance d'une voûte donnée (*).

Dans son cours de ponts, M. Morandière s'exprime ainsi sur cette théorie :

« La méthode donnée par M. Méry pour le tracé des « courbes des pressions comporte deux indéterminées qui « laissent évidemment à l'ingénieur trop d'arbitraire pour « le choix de la courbe à adopter.

« M. Durand-Claye, le major de la promotion de 1864, « rechercha aussitôt à faire disparaître cette indétermina- « tion du problème, et il a trouvé un moyen théorique, « simple, fondé sur les mêmes lois, de compléter d'une « manière certaine la construction des courbes des pres- « sions. L'article court et substantiel qu'il a publié dans

(*) Voir *Annales* : 1867, Note 142 ; 1868, Note 175.

« les *Annales* de 1867 présente donc une théorie complète
« et très bonne de l'équilibre des voûtes. »

. . . .

« Le mode de construction des courbes des pressions, « sans indéterminées, qui nous a été donné par M. Durand-« Claye, restera donc comme un résultat très satisfaisant « de la théorie de l'équilibre des voûtes. »

La présente note a pour objet :

1° D'indiquer des constructions extrêmement simples et d'une exécution très rapide, pour la pratique de la méthode de M. Durand-Claye.

2° De faire connaître une autre méthode de vérification, dans laquelle les conditions d'équilibre sont nettement accusées par les positions relatives de lignes droites et de courbes-contours déduites de la voûte à étudier au moyen d'une très simple transformation.

Notions préliminaires.

1. — Si X et Y (*fig.* 1, Pl. 24) sont les asymptotes d'une hyperbole et P un de ses points, en faisant glisser le long de Y le triangle AOC, en maintenant constant l'angle α et le côté $AC = y$, et en faisant passer sans cesse AO par le point P, le sommet P' du triangle engendre l'hyperbole donnée.

En effet, les coordonnées x et y du point P satisfont à la relation :

$$xy = K^2.$$

Or, pour toute autre position P' du sommet du triangle, on a aussi :

$$x'y' = K^2 = xy,$$

car les triangles semblables A'PC et A'P'C' donnent :

$$\frac{x'}{x} = \frac{A'C'}{A'C} = \frac{y}{y - CC'} = \frac{y}{y - AA'} = \frac{y}{y'},$$

d'où

$$x'y' = xy = K^2.$$

On déduit de là les dispositions à donner à un instrument très simple dans sa construction (*fig.* 2), et d'un maniement facile, pour tracer d'un mouvement continu une hyperbole dont on connaît les asymptotes et un point.

2. — Soit donné un tableau des hyperboles équilatères de puissances K^2 de plus en plus grandes (*fig.* 3), si l'on superpose au cadre du tableau les asymptotes connues d'une hyperbole équilatère dont on a un point P, la courbe du tableau qui passera par ce point sera évidemment l'hyperbole équilatère à tracer, elle pourra ainsi être reproduite d'un mouvement continu.

3. — Étant donné l'équation

$$xy = \pi r = K^2$$

d'une hyperbole équilatère, on en a immédiatement deux points, en identifiant x à $\left\{\begin{matrix}\pi \\ r\end{matrix}\right\}$ et y à $\left\{\begin{matrix}r \\ \pi\end{matrix}\right\}$.

4. — Soit $K^2 = xy$ (*fig.* 4) une hyperbole équilatère limitant, avec son asymptote verticale CD, des poussées horizontales x, x'...; soit aussi π un poids donné. Les résultantes de ces poussées et de ce poids passent toutes par un même point R, situé sur l'asymptote horizontale et à une distance de l'origine :

$$r = \frac{xy}{\pi} = \frac{K^2}{\pi}.$$

En effet, les triangles AOR et AO'R' donnent

$$\pi : y :: x : r, \quad \text{d'où} \quad r = \frac{xy}{\pi} = \frac{K^2}{\pi};$$

pour tout autre poussée x', on a de même

$$\pi : y' :: x' : r, \quad \text{d'où} \quad r = \frac{x'y'}{\pi};$$

donc enfin :

$$r = \frac{xy}{\pi} = \frac{x'y'}{\pi} = \frac{K^2}{\pi}.$$

5. — Toutes les pressions passant par le point R (*fig.* 5) situé sur l'horizontale menée par l'extrémité du noyau central (dans une section rectangulaire cette extrémité est aux $\frac{2}{3}$ de la longueur du joint) sont les résultantes du poids π et de poussées horizontales limitées par l'asymptote CD et par l'hyperbole équilatère EF, et ces résultantes produisent des pressions normales au joint limitées par ce joint AB et par l'hyperbole équilatère E'F'.

M. Durand-Claye a démontré que la déformée de l'hyperbole équilatère E'F' était aussi une hyperbole équilatère. Or, nous venons de voir (4) que toutes les résultantes de π et des poussées limitées par EF passent par un point unique R; notre proposition se trouve par là même démontrée.

La position du point R de passage des pressions est facile à déterminer. Il suffit, en effet, de considérer que les résultantes :

1° Verticale, de π et d'une poussée nulle, laquelle produit une pression normale au joint égale à $\pi \sin \gamma$;

2° Horizontale, de π et d'une poussée infinie, qui donne une pression normale $= \infty$, passent nécessairement par ce point R; il est donc situé à la fois :

Sur la verticale de l'origine A', sur le joint, de la pression normale $\pi \sin \gamma$, et sur l'asymptote de la déformée (horizontale menée par les $\frac{2}{3}$ du joint, extrémité du noyau central).

Le point R a une importance capitale dans l'étude des voûtes; il caractérise les hyperboles conjugées EF et E'F' et il en tient complètement lieu. Nous l'appellerons « pôle du travail indiqué par E'F' et EF ». Nous démontrons plus

loin (7) que la position du pôle R peut être facilement assignée sans qu'il soit besoin de construire les courbes E'F' et EF.

6. — Si R (*fig.* 6) est le pôle de E'F' et EF, et R' le pôle de G'H' et GH, il est évident que la pression dirigée suivant R' — R est la résultante de π et d'une même poussée Q et qu'elle fournit une pression normale N, poussée et pression normale correspondantes aux intersections des hyperboles-limites données.

7. — Soit AB (*fig.* 7) un joint de longueur f.

Traçons les hyperboles équilatères-limites des pressions normales pour un travail de n, n', n''... kilogrammes par centimètre carré; la parallèle MN au joint détermine les extrémités m, m', m''... des pressions normales mE, m'E', m''E''... $= \pi \sin \gamma$, et les verticales ER, E'E', E''R''... fournissent les pôles R, R', R''... respectifs du travail n, n', n''...

Or, les hyperboles-limites donnent :

$$\overline{\mathrm{OD}} \times \overline{\mathrm{DF}} \text{ ou } nf \times \frac{f}{6}, \text{ soit } \frac{nf^2}{6}, = \overline{\mathrm{EF}} \times \overline{\mathrm{E}m} \text{ ou } \overline{\mathrm{EF}} \times \pi \sin\gamma,$$

et de même

$$\frac{n'f^2}{6} = \overline{\mathrm{E'F}} \times \pi \sin\gamma,$$

$$\frac{n''f^2}{6} = \overline{\mathrm{E''F}} \times \pi \sin\gamma, \ldots;$$

donc les longueurs

$$\overline{\mathrm{EF}} = \frac{nf^2}{6\pi \sin\gamma}, \quad \overline{\mathrm{E'F}} = \frac{n'f^2}{6\pi \sin\gamma}, \quad \overline{\mathrm{E''F}} = \frac{n''f^2}{6\pi \sin\gamma},$$

sont entre elles dans le même rapport que n, n', n'', et il

en est évidemment de même des distances :

$$\overline{FR} = \overline{FE} \times \sin\gamma = \frac{nf^2}{6\pi},$$

$$\overline{FR'} = \overline{FE'} \times \sin\gamma = \frac{n'f^2}{6\pi},$$

$$\overline{FR''} = \overline{FE''} \times \sin\gamma = \frac{n''f^2}{6\pi}.$$

En général, pour un travail quelconque m, la distance horizontale d_m du pôle au point F est

$$d_m = \frac{mf^2}{6\pi}, \qquad (a)$$

$$\left.\begin{array}{lll} \text{pour} & m = 6^k, & d_6 = \dfrac{f^2}{\pi}, \\ \text{pour} & m = 1^k, & d_1 = \dfrac{f^2}{6\pi}. \end{array}\right\} \qquad (b)$$

Le point P sur la verticale à l'extrémité du joint est le pôle du travail :

$$N = \frac{2}{3} f \sin\gamma : \frac{f^2}{6\pi} = \frac{4\pi \sin\gamma}{f}$$

ou, en désignant PF par d,

$$N = d : \frac{f^2}{6\pi} = \frac{6\pi d}{f^2}. \qquad (c)$$

Donc, sans tracer les hyperboles-limites, on obtient les points de passage des résultantes qui produisent des pressions normales au joint admissibles pour $n = 1^k, 2^k \ldots$, c'est-à-dire les pôles du travail $1^k, 2^k \ldots$, en portant sur l'horizontale du point F (*fig.* 8) à la suite les unes des autres et à partir de F, des longueurs égales à $d_1 = \frac{f^2}{6\pi}$.

8. — Pour les voûtes n'admettant pas d'efforts de trac-

tion, on ne doit considérer parmi les résultantes passant par un pôle déterminé P, que celles dont la direction rencontre F'B (*fig.* 8), moitié du tiers central du joint; les résultantes dont il faut tenir compte pour la partie BF ont leur pôle en P', symétrique de P.

En faisant varier f, longueur du joint, et en appliquant la formule (a) ci-dessus on déterminerait facilement le lieu géométrique des pôles de travail m sur ce joint de longueur de plus en plus grande; on parviendrait ainsi à une courbe parabolique dont les tangentes seraient les résultantes à admettre pour le tiers extrême du joint. Nous n'insistons pas sur cette recherche, qui est d'un intérêt plutôt théorique qu'usuel.

Pratique de la méthode de M. Durand-Claye.

9. — Soit la voûte $o'o$ 44' (*fig.* 1, Pl. 25); proposons-nous de déterminer l'aire résidue donnant les poussées admissibles pour un travail déterminé des matériaux, 6 kilog. par exemple, par centimètre carré.

Supposons effectués le calcul des charges et le tracé des verticales des centres de gravité des 1re, 2 premières... sections de la voûte.

Déterminons sur les horizontales de chaque extrémité du tiers central des divers joints, les pôles de 6 kilog., en appliquant la formule $d_6 = \frac{f^2}{\pi}$ indiquée au (7).

Pour le joint 4 — 4', par exemple, de $1^m,40$ de longueur, on a

$$d_6 = \frac{\overline{140}^2}{36920} = 0^m,53$$

qui, à l'échelle de $0^m,015$ par mètre, adoptée pour l'épure, est représentée par $0^m,00795$; il suffit donc, pour obtenir

les pôles cherchés d et d', de porter cette longueur à partir de o et o'.

On trouve de la même manière les pôles a et a', b et b'. c et c' pour les autres joints.

Actuellement, la question revient à tracer les hyperboles équilatères limitant des poussées à la clef qui, combinées avec $\pi = 5.860^k$, $= 13.280^k$..., donnent des résultantes passant par les points a, a'..., d, d'.

Or, nous avons vu (4) que si pour le pôle b, par exemple, nous désignons la longueur $\overline{bk}$ par r, l'hyperbole correspondante a pour équation

$$xy = \pi r = 13280^k \times r.$$

Comme nous l'avons indiqué (3), nous obtiendrons un point p de cette hyperbole, en faisant $x = r$, que nous porterons de (k) en (b), et $y = 13.280^k = \overline{(b)\,p}$.

En superposant $\overline{o'D}$, et $\overline{(k)(b)}$ au cadre du tableau ou patron des hyperboles équilatères (2), et en reproduisant sur l'épure la courbe du patron, passant par le point p, nous aurons finalement l'hyperbole voulue.

En opérant pour chacun des autres pôles a, a', b', c, c', d et d', comme nous venons de l'indiquer pour le pôle b, on réalise directement la superposition des aires, d'où apparaît finalement l'aire résidue cherchée.

La *fig.* 1 reproduit toutes les constructions à effectuer.

Si nous partagions en six parties égales les longueurs telles que od, $o'd'$..., nous obtiendrions les pôles de 5^k, 4^k, 3^k, 2^k, 1^k..., et en traçant les hyperboles correspondantes, on réduirait progressivement et à volonté l'aire résidue ; sa réduction à un point constitue, comme on le sait, la solution correspondante à la stabilité limite.

En considérant comme pôles les extrémités des divers

joints 1 — 1′, 2 — 2′,... et en appliquant les constructions décrites ci-dessus, on réalise l'aire résidue dans le cas d'une résistance indéfinie.

Autre méthode de vérification.

10. — Soit (*fig.* 9, Pl. 24) AB un joint de voûte, CD la verticale du centre de gravité et π le poids.

Les pressions ou résultantes qui passent par le point B, par exemple, sont issues de poussées limitées par l'hyperbole équilatère EF : $xy = \pi r$.

Si nous faisons

$$r' = \frac{\pi r}{P},$$

P étant quelconque, les résultantes issues des mêmes poussées EF et de P passeront par le point B′, car on a

$$xy = Pr' = P\left(\frac{\pi r}{P}\right) = \pi r.$$

Pour tout point N de AB, on a

$$r : r' :: r_n : r'_n$$

ou

$$r : \frac{\pi r}{P} :: r_n : r'_n,$$

d'où

$$r'_n = \frac{\pi r_n}{P}.$$

Par conséquent, si les poussées qui, composées avec π, donnent des pressions passant par N, sont composées avec P, toutes les nouvelles résultantes passeront par N′.

D'une manière générale, les résultantes d'un système de poussées et de π, d'une part, de ces mêmes poussées et de P, d'autre part, rencontrent respectivement AB et A′B′ en des points situés deux à deux sur une même horizontale.

11. — Si la composition de la poussée Q (*fig.* 10) et de π, π_1,... fournit la courbe des pressions STT_1, la substitution d'un poids constant P à π, π_1... aura pour effet de transporter les points de passage T en T′, T_1 en T'_1; les nouveaux points T′ et T'_1 satisfaisant à la relation :

$$r'_n = \frac{\pi_n r_n}{P}.$$

Or les nouvelles pressions obtenues étant chacune issue de Q et de P, leurs directions OT′ et $O_1T'_1$ sont nécessairement parallèles, de sorte que si l'on reporte les constructions qui les ont fournies sur la ligne unique CD, les points T′ et T'_1 se trouveront situés sur une même ligne droite. En d'autres termes, la courbe des pressions se transformera en une ligne droite qui rencontrera les joints A′B′ et E′F′, préalablement rabattus autour de CD, sur les horizontales des points T et T_1.

12. — Proposons-nous actuellement d'étudier la voûte o′o44′ (*fig.* 2, Pl. 25).

Supposons effectués le calcul des poids, le tracé des verticales des centres de gravité des diverses portions de la voûte et l'indication des pôles du travail déterminé des matériaux, 6 kilog., par exemple, par centimètre carré.

Il est évident, que si pour les extrémités de chaque joint et pour les pôles du travail nous portons à gauche de la verticale à la clef les distances $r'_n = \frac{\pi_n r_n}{P}$, P étant quelconque, mais constant, nous réaliserons un profil qui admettra entre ses courbes contours autant de lignes droites que la voûte donnée comporte de courbes des pressions compatibles avec l'équilibre et le travail de 6^k assigné aux matériaux.

Nous avons d'ailleurs montré plus haut (7) avec quelle

facilité on indique les pôles du travail 1^k, 2^k, 3^k,... ; on peut donc sans aucune nouvelle construction rapprocher à volonté l'une de l'autre les deux courbes contours jusqu'à les amener à n'admettre entre elles qu'une seule ligne droite, c'est-à-dire obtenir la solution de la stabilité limite.

13. — Généralement on se propose la recherche des poussées limites pour ensuite en déduire le travail des matériaux en construisant les courbes des pressions ; ici la connaissance des poussées a une moindre importance, puisque par la simple application d'une règle sur le profil transformé, on acquiert immédiatement la notion de l'existence ou de la non-existence de solutions admissibles, leur nombre, ainsi que la position des joints faibles, etc. Nous croyons néanmoins utile de montrer que la méthode que nous venons d'exposer se prête à la facile détermination de l'aire résidue de M. Durand-Claye.

Nous avons déjà établi que la transformation $r'_n = \frac{\pi_n r_n}{P}$ n'affecte pas les valeurs ni les positions des poussées ; l'adoption du poids unique P rend très simple la comparaison des poussées, car, en désignant par α_n l'inclinaison de la pression sur la verticale, la poussée correspondante a pour expression $Q_n = P \operatorname{tang} \alpha_n$ et varie par conséquent avec α_n. Ainsi si OT (*fig.* 11, Pl. 24) est une ligne des pressions, la poussée correspondante sera CK'. Donc, si l'on relève sur une règle les points K_n et K'_n pour des inclinaisons de plus en plus grandes de OT, il suffira d'appliquer cette règle sur le profil transformé pour obtenir à la fois par une simple lecture en K_n la valeur numérique de la poussée Q_n, et en K'_n un point qui en limite la grandeur sur l'épure (*).

(*) Le spécimen de règle qui accompagne cette note est établi pour P = 20.000 kilog., et à l'échelle de 0,005 pour 1 tonne.

En faisant prendre à cette règle toutes les positions qu'elle peut occuper dans l'intérieur du profil transformé, le lieu des points K'_n constitue précisément l'aire résidue dont il s'agit (*fig.* 2, Pl. 25).

Tarbes, 1879.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Août 1880.

N° 49

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Dans sa séance du 31 mai 1880, l'Académie des Sciences a élu membre de la section de mécanique M. Bresse, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées, en remplacement de M. le général Morin, décédé.

Les membres en activité, en retraite ou sortis du Corps des Ponts et Chaussées qui appartiennent actuellement à l'Académie des Sciences sont :

MM. **Barré de Saint-Venant**. .	Section de mécanique.
Bonnet (Ossian).	Section de géométrie.
Bresse	Section de mécanique.
Chrétien-Lalanne (Léon). .	Académicien libre.
Liouville (Joseph)	Section d'astronomie.
Maillard de la Gournerie.	Académicien libre.
Mangon (Hervé)	Section d'économie rurale.
Tresca.	Id. de mécanique.

M. Dausse, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite, est correspondant de la section de mécanique.

N° 50

PRIX WATIER (*)

Décernés dans la séance du Conseil de l'École des Ponts et Chaussées du 4 juin 1880.

Conformément aux dispositions proposées par le Conseil de l'École et approuvées par M. le Ministre des Travaux Publics, la bibliothèque, que M. l'Inspecteur général Watier a léguée en mourant à l'École des Ponts et Chaussées, a été partagée entre les élèves dont les noms suivent et qui se sont plus spécialement distingués dans leurs études :

		MM.
Prix d'excellence		**Loiseleur.**
Architecture	1er prix	**Legouëz.**
Id.	2e prix	**Voisin.**
Mécanique	1er prix	**Clarard.**
Id.	2e prix	**Voisin.**
Ponts		**Mussat.**
Navigation intérieure	1er prix	**Loiseleur.**
Id.	2e prix	**Hivonnait.**
Travaux maritimes		**Getten.**
Routes		**Voisin.**
Hydraulique agricole		**Mussat**, **Legouëz** — 2 prix *ex-æquo.*
Fortification		**Getten.**
Chemins de fer		**Getten.**
Machines à vapeur		**Mussat.**
Procédés généraux de construction		**Pavie.**
Minéralogie et géologie		**Lefort.**
Droit administratif	1er prix	**Mussat.**
Id.	2e prix	**Bresse.**
Économie politique		**Barbet** (Firmin).
Composition littéraire		**Bachy.**
Croquis de machines		**Voisin.**
Allemand		**Leloutre.**
Anglais		**Guibert.**
Dessin et lavis	1er prix	**Leforestier.**
	2e prix	**Rousseau.**

(*) Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1880, 1er semestre, page 75.

N° 51

CHEMIN DE FER TRANSSAHARIEN.

MISSION

POUR

L'ÉTUDE DES LIGNES DE LAGHOUAT A EL GOLÉAH ET DE BISKRA A OUARGLA.

NOTE

Par M. CHOISY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La mission dont la présente note résume les travaux avait pour objet l'étude et la comparaison de deux lignes de chemin de fer, toutes deux dirigées vers les régions transsahariennes, mais aboutissant l'une à l'ouest, l'autre au centre du Soudan.

La première de ces deux lignes devait partir de Laghouat ; j'avais à la suivre jusqu'à El-Goléah, puis à examiner au delà de ce point les passages qui permettraient le prolongement de la ligne plus au sud.

Le second tracé avait Biskra pour point de départ, je devais le conduire jusqu'à Ouarglâ, laissant ensuite à M. le colonel Flatters le soin de le continuer vers le pays des Touaregs et l'Afrique centrale.

— Pour comparer entre elles ces deux lignes, j'ai pensé qu'il ne suffisait pas de réunir les éléments topographiques des tracés; l'esprit de l'administration était d'envisager la question d'un point de vue plus large, en faisant concourir à la solution du problème transsaharien toutes les ressources d'une reconnaissance vraiment scientifique du Sahara. Nous nous sommes efforcés de constituer une monographie aussi complète que possible de la région parcourue ; et le programme que nous nous sommes imposé en nous inspirant de cette pensée peut se résumer ainsi :

1° Fixer sur notre trajet une série de repères géodésiques formant, dans le champ de nos reconnaissances, un canevas de carte bien assuré ;

2° Faire connaître, sur toute la zone d'étude qui nous était proposée, la configuration détaillée du sol ;

3° Établir la carte géologique en s'attachant au régime des eaux aussi bien qu'à l'histoire des formations sahariennes;

4° Déterminer dans la mesure du possible l'état actuel des productions du pays, leurs chances de développement et les éléments du trafic qu'on peut attendre de l'avenir;

5° Dresser la statistique botanique, surtout en vue des plantes qui peuvent servir à la fixation des sables;

6° Rectifier, par des observations météorologiques qui éliminent l'effet du rayonnement, les idées reçues sur le climat du Sahara;

7° Enfin reconnaître, par des constatations anthropologiques, les races d'hommes acclimatées ou acclimatables aux divers points du Désert.

Mes collaborateurs étaient :

MM. Barois, ingénieur des Ponts et Chaussées et Rolland, ingénieur des Mines, M. le docteur H. Weisgerber; M. Jourdan, gardemines principal; MM. Descamps et Pech, chefs de section au cadre auxiliaire. Huit aides-opérateurs européens avaient été recrutés à Alger.

La caravane, placée sous la direction de M. le lieutenant Massoutier, adjoint au bureau arabe de Laghouat, comprenait, indépendamment du personnel français de la mission, des guides et éclaireurs indigènes dont le nombre varia suivant les localités. Les seules armes de guerre dont la mission disposât étaient 8 fusils Gras. Huit chevaux servaient aux reconnaissances rapides. L'appui d'une escorte militaire, quelle qu'elle fût, nous avait été formellement refusé.

L'effectif des chameaux porteurs fut réglé d'après le poids du matériel, des vivres et de l'eau. On admit comme chargement normal un chiffre de 150 kilog.; une durée de traversée de 100 jours au Désert; la chance de demeurer 10 jours sans rencontrer un point d'eau; enfin la nécessité d'une ration d'eau journalière de 5 litres par homme et de 15 litres par cheval. Le nombre des chameliers était d'un pour 5 chameaux.

Telles furent les bases de la constitution de la caravane. Quant au mode d'opération, il fallut à chaque instant le subordonner au degré de la sécurité. Sur 150 kilom. au sud de Laghouat, et sur tout le trajet entre Ouarglâ et Biskra, les opérations furent d'une précision géodésique; sur le surplus du parcours, on dut se contenter d'un levé d'itinéraire : mais on eut soin, pour tous les points difficiles, de dresser un plan au $\frac{1}{20.000}$, et d'empêcher les accumulations d'erreurs par des déterminations astronomiques très fréquentes. On employa à cet effet, deux chronomètres de la ma-

rine et un compteur qui furent mis à l'heure à l'Observatoire de Marseille, et portés à bras d'hommes pendant tout le trajet : leur marche fut rigoureusement déterminée à l'aide de comparaisons journalières et d'observations exécutées à l'arrivée, au signal de Biskra.

L'aspect du pays parcouru est celui d'un immense plateau de grès ou de calcaire, appartenant aux formations crétacées, et qui a subi, du nord au sud, des dislocations profondes suivant une direction générale, marquée par le grand escarpement de l'El Louâ. A l'ouest de cet escarpement, le sol crétacé s'affaisse d'une façon assez brusque ; vers l'est, il plonge plus lentement : et tous les bas fonds, entre autres l'El Louâ et l'Oued-Rir, sont recouverts par une couche épaisse d'alluvions quaternaires.

C'est sur ce sol tantôt rocheux et tantôt d'alluvion, que doivent se développer les deux lignes dont l'étude comparative nous était confiée : et nous avons eu la satisfaction de reconnaître que nulle part la nature ou la configuration du terrain n'oppose au passage d'un chemin de fer d'obstacles infranchissables. La ligne de Laghouat vers Goléah serait assise presque tout entière sur le roc, et celle de Biskra à Ouarglâ sur un fond d'alluvion ; mais, que l'on parte de Laghouat ou qu'on prenne Biskra pour tête de ligne, nulle part on ne court le risque de se trouver en face d'une impossibilité technique. Les difficultés sont loin d'être équivalentes et les chances d'un trafic local sont fort inégales d'une ligne à l'autre : mais nulle part les considérations locales n'offrent assez de gravité pour faire abandonner *à priori* l'un ou l'autre des deux tracés ; et, le jour où l'administration devra se prononcer entre les deux, elle pourra s'affranchir du côté technique de la question pour régler son choix essentiellement sur les convenances du commerce soudanien.

Les difficultés peuvent en effet se résumer comme il suit :

1° *Ligne de Laghouat à Goléah.* — Sur le premier tiers du parcours, point d'obstacles d'aucune sorte : on chemine sur des plateaux absolument unis.

Puis on s'engage dans des fonds de vallées, mais sans accidents ni reliefs notables; à peine un petit nombre de points, tels que Teniet-el-Anès, exigeront quelques travaux d'art.

C'est dans le dernier tiers du trajet, entre Hassi-Cheref et Goléah, que s'accumulent les mauvais passages : les oueds ou vallées sèches, et les sables.

Les oueds sont tous dirigés du N.-O. au S.-E. ; la ligne doit les franchir tous ; mais heureusement ils sont si peu accentués, qu'on espère les traverser sans terrassements importants, avec des

pentes de $0^{m},015$ au plus : de ce côté donc, aucun obstacle sérieux n'est à craindre. Restent les sables.

Cette région est coupée, parallèlement à la direction des oueds, par les dernières ramifications des dunes de l'Ouest. Le sable se présente par chaînes, par longues traînées dont la hauteur atteint en certains points 30 mètres. Le relief, la configuration superficielle de ces dunes est assez variable et change avec la direction des courants atmosphériques, mais l'emplacement qu'elles occupent sur le sol est généralement lié à des accidents topographiques qui permettent d'affirmer qu'en plan la position des sables est fixe.

La traversée de ces dunes pourrait se faire suivant les cas, soit par des tunnels, soit par des viaducs légers, opposant assez peu d'obstacle aux vents pour ne pas troubler le régime des sables. Le nombre des dunes à franchir serait de quatre et l'épaisseur totale serait de 5 kilom. à traverser moitié en tunnel, moitié en viaduc.

Une pointe poussée au delà de Goléah nous a permis de reconnaître le passage des grandes dunes qui barrent la route du Touât. Ce passage, signalé par M. Soleillet, est d'une facilité inespérée : 1.500 mètres de tunnel. Après quoi, nous ont assuré nos guides, la voie est entièrement ouverte et n'offre que quelques ondulations rocheuses aux abords d'In-Salah.

Comme ressources en eau, la ligne est bien partagée au départ et à l'arrivée. Mais sur les plateaux entre Laghouat et Goléah, il faudrait multiplier les puits et les citernes, et aucun indice n'autorise à penser qu'on puisse pratiquement obtenir des sources artésiennes.

Au point de vue des eaux, une variante dirigée par la vallée de l'El Louâ se serait peut-être présentée dans des conditions plus favorables. L'El Louâ est une vaste plaine terminée par une falaise brusque, peut-être une faille, au pied de laquelle on aurait eu chance de rencontrer des nappes artésiennes. C'est là toutefois une simple conjecture que l'insécurité du pays m'a interdit de vérifier. Privé de toute escorte militaire, je reçus au puits de Zebbacha, de la part de la division d'Alger, les avis les plus pressants de me replier sur Laghouat : j'étais exposé, sans moyen de défense, à l'attaque des tribus de l'Ouest, et il s'agissait d'épargner à ma caravane un désastre qui paraissait inévitable. Je passai outre, et pris sous ma responsabilité personnelle tous les risques d'une marche en avant. Mais je crus qu'il y aurait excès de témérité à m'écarter vers l'Ouest; je renonçai à reconnaître l'El Louâ, et me tins sur les plateaux.

La question des avantages de l'El-Louâ, au point de vue des eaux, reste donc entière. Du moins, la route que j'ai suivie peut fournir largement de l'eau à une caravane, et, à la condition de multiplier les puits et les citernes, elle en donnerait en quantité suffisante pour les machines et le personnel d'un chemin de fer. Je considère donc comme assurée la possibilité d'établir une voie ferrée sur les plateaux que j'ai parcourus.

2° *Ligne de Biskra à Ouarglâ.* — J'arrive aux détails de l'autre ligne, celle qui a Biskra comme point de départ.

Entre Biskra et Ouarglâ, on est sur un sol absolument plat, formé d'alluvions quaternaires ayant la consistance du tuf, où il suffit presque partout de poser la voie. La principale difficulté consiste à traverser, au Sud de Blidet-Amar, une quarantaine de kilomètres, qui se présentent sous l'aspect suivant :

La surface est celle d'une plaine ridée par une multitude de dépressions, dont la profondeur n'excède guère 5 mètres, et dont le fond est recouvert d'une cristallisation saline : un plateau parsemé d'une infinité de petits chotts.

Le sol est sableux, mais point mobile ; il doit sa demi-consistance et le maintien de ses reliefs à une sorte de ciment gypseux qui l'agglutine légèrement. Enfin, une végétation spontanée, que la culture paraît apte à développer, permettrait de fixer les remblais sableux nécessaires pour la traversée de ce singulier groupe de chotts.

A part ce passage, les seuls travaux à exécuter seraient des remblais d'une trentaine de centimètres dans quelques fonds humides ; plus, à la rencontre de l'Oued-Djeddi, une levée à pertuis, haute de 1 mètre à $1^{m},50$, et longue de 10 kilomètres. Mais cette levée aurait pour avantage de régler à volonté les submersions fertilisantes d'une magnifique vallée : ce serait une digue à construire, alors même que les besoins du chemin de fer ne la motiveraient pas.

L'eau se trouve partout : de l'eau médiocre, malheureusement, à laquelle les Européens s'habituent avec peine, et qui incrusterait vite les machines ; il y aurait là un inconvénient au point de vue de l'exploitation. Un autre inconvénient serait la difficulté, pour des hommes de race blanche, de vivre au milieu des causes d'insalubrité qu'entraîne l'irrigation des oasis. Mais cette difficulté ne paraît pas plus grande pour les oasis de l'Oued-Rir que pour les Marais-Pontins ou les rizières du Pô ; nous avons vu une famille française établie à Tougourt, et à coup sûr d'autres Européens pourraient comme elle habiter cette région moyennant une hygiène sévère.

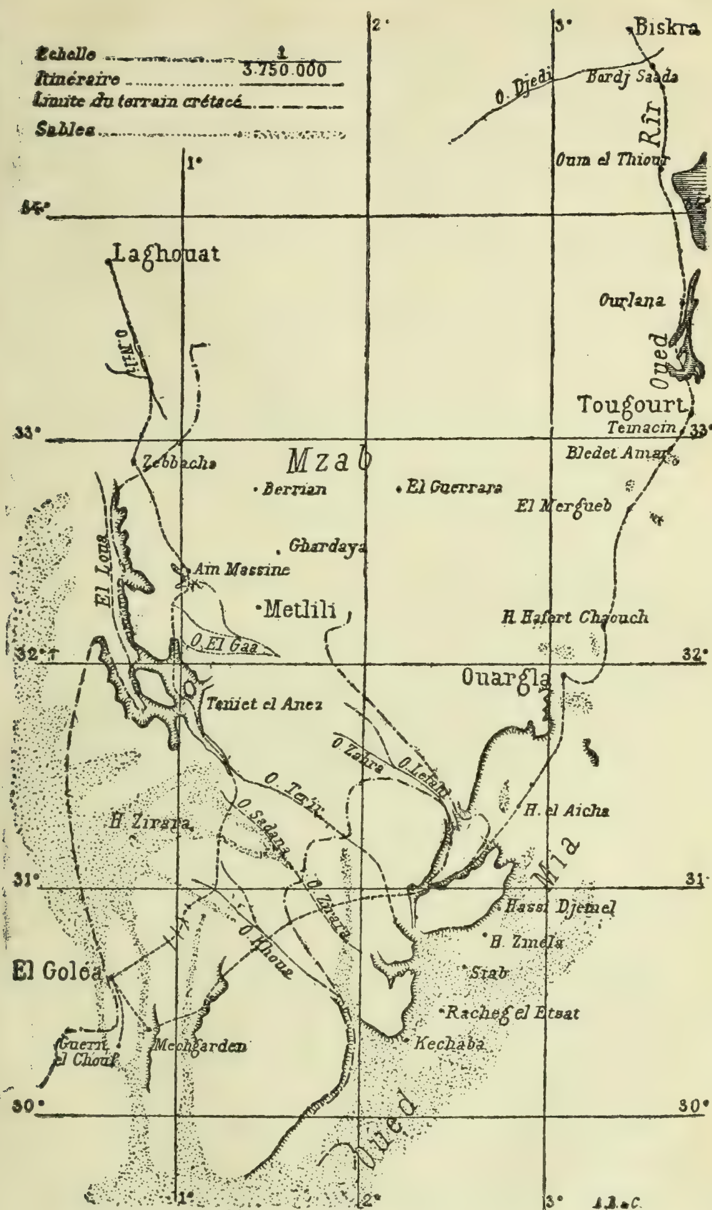
Une ligne joignant Laghouat à Goléah traverserait des contrées exclusivement peuplées de nomades. Au contraire, une ligne tracée au sud de Biskra, à travers l'Oued-Rir, se développerait au milieu d'une population sédentaire, que ses instincts aussi bien que ses caractères anthropologiques distinguent de la famille arabe, et que je crois capable de concourir à la construction du chemin de fer et à son entretien.

Une ligne au sud de Laghouat n'aurait à transporter d'autres produits locaux que du bétail : une ligne issue de Biskra trouverait sur tout son parcours, pour alimenter son trafic, les produits des oasis, qui sont considérables. L'Oued Rir seul donne par an 6.000 tonnes de dattes, la région au sud de Tougourt jusqu'à Ouarglâ en fournit davantage encore, et la production pourrait aisément doubler par la multiplication des puits artésiens.

— Au reste, ce point de vue des intérêts locaux à desservir est tout à fait secondaire dans la discussion d'une ligne qu'il faut avant tout envisager comme une voie de pénétration ; et l'on ne pourra vraiment se décider avec connaissance de cause, entre les deux tracés en présence, que du jour où l'on saura lequel des deux aborde le Soudan dans les conditions les meilleures.

Est-ce à dire qu'il y ait lieu d'ajourner l'entreprise d'un chemin de fer jusqu'au moment où les idées seront définitivement fixées sur cette délicate question ? Notre opinion est qu'une ligne partant de Biskra et aboutissant à Ouarglâ serait, dès aujourd'hui et indépendamment de son avenir transsaharien, une ligne utile. Le trafic journalier indemniserait au moins partiellement des frais d'établissement et d'exploitation ; et si plus tard le choix définitif se fixait en faveur de la direction du Soudan central, on serait heureux de trouver jusqu'à Ouarglâ un tronçon tout préparé.

Enfin, une opération qui nous paraît urgente et qui ne préjuge en rien la solution définitive du problème transsaharien, serait de préparer les populations indigènes à la civilisation européenne par la pose immédiate d'un fil télégraphique ; le fil relierait ensemble Laghouat, les villes du Mzâb, Ouarglâ et Biskra ; et l'on peut compter sur l'esprit commerçant des Mozabites pour s'assurer que ce réseau ne sera point improductif. C'est par là, selon nous, qu'il convient de commencer l'entreprise transsaharienne : quel que soit l'avenir réservé au grand projet de pénétration vers le Soudan, ce réseau lui sera d'un puissant secours ; c'est en tout cas une œuvre utile, que les besoins de notre colonie algérienne paraissent impérieusement réclamer.


Échelle 1/3.750.000
Itinéraire
Limite du terrain crétacé
Sables
Biskra
O. Djedi
Bardj Saâda
Rîr
Oum el Thiour
Laghouat
O. Mzi
Ourlana
Oued
Tougourt
Temacin
Mzab
Bledet Amar
Zebbach
Berrian
El Guerrara
El Mergueb
El Loua
Ghardaya
Aïn Massine
Metlili
H. Hafert Chaouch
O. El Gaa
Ouargla
Teniet el Anez
O. Zahra
O. Lebah
O. Tsir
H. Zirara
O. Sadana
H. el Aïcha
Mia
O. Zirara
Hassi Djemel
O. Khoua
H. Zmela
El Golea
Siab
Rachegel Etsat
Guern el Chouf
Mechgarden
Kechaba
Oued
1°
2°
3°
30°
31°
32°
33°

N° 52

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1880.

OUVRAGES ANGLAIS.

ADAMS (C. F.). — Notes on Railroad Accidents. By C. F. Adams Jr. 12mo, cloth. New-York. 6s.

Notes sur les accidents de chemins de fer.

ADAMS (J. W.). Sewers and Drains for Populous Districts. Illust. 12mo. New-York. 16s.

Égouts et drains pour les districts populeux.

ALEXANDER (T.). — Elementary Applied Mechanics: Being the Simpler and more Practical cases of Stress and Strain wrought out individually from First Principles by means of Elementary Mathematics. Illustrated by Diagrams and Graduated Examples. Intended as an easy Introduction to the General Treatment of the Subject in Rankine's Mechanics. Post. 8vo, pp. 126. Macmillan. 4s. 6d.

Mécanique appliquée élémentaire.

ALLEN, Z. — Solar Light and Heat. Gravitation, with Explanation of planetary and molecular Forces. Illustrated. New-York, 1879. 8°. XVI, 241 pp. 9 m.

Lumière solaire et chaleur. Force de gravité avec l'explication des forces planétaires et moléculaires.

ANDERSON, R. Lightning Conductors, their History, Nature and Mode of Application. With numerous Illustrations. London, 1879, 8°, 260 pp. 19 m.

Paratonnerres. Leur histoire, leur nature et leur mode d'application.

BEARDSLEE (L. A.). Experiments on the Strength of Wrought-Iron

and of Chain Cables. Report of the Committees. Abridged by W. Kent. 8vo, pp. VI-119. New-York. 10s.

Expériences sur la force du fer et des câbles servant de chaînes.

Blaikie (J.). — The Elements of Dynamics (Mechanics). With numerous Examples and Examination Questions. 3rd ed., revised and enlarged, with an Appendix. Post 8vo, pp. 114. Thin (Edinburgh). Simpkin. 3s. 6d.

Eléments de Dynamique, avec de nombreux exemples et des questions d'examens.

Buck, J. H. W. — The Construction of large Tunnel Shafts. A practical and theoretical Essay. London, 1880. 8°. 14s.

Construction des larges galeries de tunnel.

Cain (W.). Theory of Solid and Braced Elastic Arches. 32mo, bds., pp. 172. New-York. 2s. 6d.

Théorie des arches élastiques solides et à treillis.

Clarke, A. R. Geodesy. London, 1880. 8°, 356 pp. 15s.

Géodésie.

—— G. S. The Principles of graphic Statics. London, 1880, 4°, 146 pp. 15s.

Principes de statique graphique.

Davey (Henry). — A Description of the Differential Expansive Pumping Engine. 8vo, pp. 36. Spons. 2s.

Description de la pompe différentielle à expansion.

Fife, R. E. — The Civil Engineering Profession in India. By Lt.-Gen. Fife, R. E. 1879. 1s.

La profession d'ingénieur civil dans l'Inde.

Glen (Alexander). — The Powers and Duties of Surveyors of Highways, and of other Authorities, with regard to the Management of the Public Highways. Post 8vo, pp. 214. Knight. 4s.

Les pouvoirs et les devoirs des inspecteurs des routes et autres autorités pour ce qui regarde l'entretien des voies publiques.

Greathed (W. H. Colonel C. B., R. E.). — Irrigation. On the practice and results of Irrigation in Northern India. By Col. W. H. Greathed, C. B., R. E., Chief Engineer of Irrigation to the Government of the North-Western Provinces. 1873. 2s.

Sur la pratique et les résultats de l'irrigation dans le nord de l'Inde.

GREENE (C. E.). — Trusses and Arches Analyzed and Discussed by Graphical Methods. Part 3. Arches in Wood, Iron, and Stone, for Roofs, Bridges, and Wall-openings. With Eight Plates. 8vo, pp. 190. New-York. 12s. 6d.

Fermes et arches, analysées et discutées par les méthodes graphiques. 3e partie, arches en bois, fer et pierre pour toits, ponts, etc.

GUTHRIE (Frederick). — Practical Physics : Molecular Physics and Sound. By Frederick Guthrie, Ph. D., F. R. S., Professor of Physics, Royal School of Mines. With 91 Diagrams. 1s. 6d.

Physique pratique. Physique moléculaire et son.

HENRICI (O.) Ph. D. F. R. S. — Geometry, Congruent Figures. By O. Henrici, Ph. D., F. R. S. Professor of Mathematics, Univ. Coll., London. With 141 Diagrams, 1s. 6d.

Géométrie. Figures congruentes.

JEANES, J. S. — Steel. Its History, Manufacture, Properties and uses. London, 1880. 8°, 874 pp. 43s.

L'acier. Son histoire, sa fabrication, ses propriétés et ses emplois.

HEWITT (Wm.). — Class-Book of Elementary Mechanics. An Introduction to Natural Philosophy. Part 1, Matter. Post 8vo. G. Philip. 1s 6d.

Traité classique de mécanique élémentaire. Introduction à la Philosophie naturelle, 1re partie.

HASWELL, C. E. — Engineer's and Mechanic's Pocket-Book. By C. H. Haswell, C. E. Thirty-fifth edition, Revised and Enlarged. 18mo, roan tuck, pp. XV-671. New-York. 15s.

Manuel de l'ingénieur et du mécanicien.

HAWKSLEY (T.). — The Metropolitan Water Supply. The new sources. (From the " Quarterly Review. ") 1850. 1s.

L'alimentation d'eau de la métropole. Les nouvelles sources.

—— Reports to the Municipal Council on the Supply of Water to Dublin, by T. HAWKSLEY, C. E., and Parke Neville, C. E. Map. 1859. 2s. 6d.

Rapports au Conseil municipal sur l'alimentation d'eau de Dublin.

LOWIS D'A. JACKSON. — Aid to survey practice, for Reference in

Surveying, Levelling, Setting-out, and Route Surveys of Travellers by Land and Sea. With Tables, Illustrations, and Records. By Lowis d'A. Jackson, A.-M. I. C. E., Author of " Canal and Culvert Tables, " etc. Large crown 8vo. 12s 6d., cloth.

Aide à la pratique des études sur le terrain.

OLIVIER J. Lodge. — Elementary Mechanics, including Hydrostatics and Pneumatics. Illustrated with numerous Diagrams. By Oliver J. Lodge, D. Sc., London University. Price 3s.

Mécanique élémentaire, comprenant l'hydrostatique et la théorie des gaz, avec de nombreux diagrammes.

LUPTON (N. T.). — Elementary Principles of Scientific Agriculture. 12mo, pp. 107. New York. 2s 6d.

Principes élémentaires de l'agriculture scientifique.

MAGNUS (Philip) B. Sc. — Hydrostatics and Pneumatics. By Philip Magnus, B. Sc., B. A., Author of " Lessons in Elementary Mechanics, " Joint-Editor of the Series. With 70 Diagrams. 1s 6d.; or with Answers, 2s.

Hydrostatique et théorie des gaz.

MATHEMATICAL TABLES. Consisting of Logarithms of Numbers 1 to 108.000. Trigonometrical, Nautical, and other Tables, carried to Seven Decimal Places. New Edition. Edited by James Pryde, F. E. I. S. Price 4s 6d., cloth.

Tables mathématiques. Comprenant les logarithmes des nombres de 1 à 108.000, des tables trigonométriques, nautiques et autres à sept décimales. Nouvelle édition, éditée par James Pryde.

MAW (W. H.) and DREDGE (I.). — Modern Examples of Road and Railway Bridges; Illustrating the most Recent Practice of Leading Engineers in Europe and America. Partially reprinted from Engineering. 94 Plates. Folio, pp. 184, hf.-bd. Engineering Office. 42s.

Exemples modernes de ponts pour routes et chemins de fer.

MICHAEL REYNOLDS. — Stationary Engine Driving. By Michael Reynolds, M. S. E., Author of " Locomotive Engine Driving. " Illustrated with numerous Wood Engravings, Crown 8vo. [In the Press.]

Conduite des machines fixes.

—— The Model Locomotive Engineer, Fireman, and Engine-Boy.

By Michael Reynolds, M. S. E., formerly Locomotive Inspector, L. B. et S. C. R. With numerous Illustrations and Portrait of George Stephenson. Crown 8vo, 4s. 6d., cloth.

L'ingénieur, le mécanicien et le chauffeur modèle de locomotives.

Michael Reynolds. — Locomotive Engine-Driving: A Practical Manual for Engineers in Charge of Locomotive Engines. By Michael Reynolds, M. S. E. Fourth Edition, greatly Enlarged, comprising, besides other Additional Matter, A Key to the Locomotive Engine. With numerous Illustrations, and a Portrait of the Author. Crown 8vo, 4s. 6d., cloth.

Conduite des machines locomotives. Manuel pratique pour les ingénieurs chargés des locomotives. 4e édition, considérablement augmentée.

—— On the latest improvements of Marine Engines and Boilers.

Sur les plus récents perfectionnements des machines et chaudières marines.

Penning (W. H.). — Engineering Geology. With coloured Maps and Illustrations. Cr. 8vo, pp. 176. Baillière. 3s. 6d.

Géologie des ingénieurs.

Proceedings of the Association of Municipal and Sanitary Engineers. Vol. 5. 1878-79. 8vo. Spons 7s. 6d.

Comptes rendus de l'association des ingénieurs municipaux et chargés de la salubrité publique.

Professional Papers of the Corps of Royal Engineers. Series of Occasional Papers. Vol. 3, 1879. Edited by Major R. H. Vetch, R. E. With numerous Plates. 8vo, pp. 408. Royal Engineer Institute, Chatham. 12s.

Mémoires professionnels du corps des ingénieurs royaux.

Joseph Quick, C. E. — Water. Metropolis Water Works Purchase. Remarks on the Principles of Compensation involved in the Transfer of Water Undertakings from Private to Public Authorities. By Joseph Quick, Jun., C. E. 2s. 6d.

Rachat de la distribution d'eau de la métropole.

—— Our Water Supply. A Discussion for and against the fitness of Thames and River Water for domestic use, 1880. 1s.

Notre alimentation d'eau. Discussion pour et contre la conve-

nance de l'emploi de l'eau de la Tamise et de l'eau de rivière pour les usages domestiques.

JOSEPH QUICK (C. E.). — Railway, etc., Bills, 1880. Board of Trade Report. 6d.

Lois sur les chemins de fer. Rapport du ministère du commerce.

RAWLINSON (Robert), C. B., C. E. — Main Sewering and Water Supply. The Public Health Act. Detailed Drawings, supplemental to " Suggestions as to the preparation of District Maps, and of Plans for Main Sewering, Drainage, and Water Supply." By Robert Rawlinson, C. B., C. E., Chief Engineering Inspector to the Local Government Board. Ten Plans, 2s. each; and Letterpress, 3d.

1. Manholes on Pipe Sewers.
2. Plans and Sections of Manholes.
3. Flushing Chambers.
4. Flushing Chambers for 3′ 6″ by 2′ 4″ Brick Sewers.
5. Sewer Outlet on Sea Coast or Tidal River, where there is a Steep Cliff of Rock.
6. Sewer Outlet on Tidal River or Sea-Shore.
7. Tidal Flap for 5′ 0″ by 3′ 4″ Sewer.
8. Plan of Service Reservoir.
9. Sections of Service Réservoir.
10. Plan, Sections, and Details of Service Reservoir, constructed in concrete.

Construction d'égouts et distributions d'eau.

ROBERT STAWELL BALL. — Mechanics. By Robert Stawell Ball, LL. D., F. R. S., Andrews, Professor of Astronomy in the University of Dublin, and Royal Astronomer of Ireland. With 89 Diagrams, 1s. 6d.

Mécanique.

ROCC (J. D. C. de). — Linkages; the Different Forms and Uses of Articulated Links. Translated from the French 32mo, bds., pp. 87. New-York. 2s. 6d.

Les différentes formes et les usages des systèmes articulés.

SAMUEL H. SCUDDER. — Catalogue of Scientific Serials of all Countries, including the Transactions of Learned Societies in the Natural, Physical, and Mathematical Sciences, 1633-1876. By Samuel H. Scudder. Royal 8vo, cloth, pp. 358. 20s.

Catalogue des publications scientifiques de tous les pays, comprenant les transactions des sociétés savantes des sciences naturelles, physiques et mathémathiques.

SCOTT (R. F.). — A Treatise on the Theory of Determinants, and their Applications in Analysis and Geometry. 8vo, pp. 260. Cambridge Warehouse. 12s.

Traité des déterminants et de leur application à l'analyse et à la géométrie.

STEPHENS, R. — Science of Railway Construction. London, 1879. 12°. 4 m. 80 pf.

Science de la construction des chemins de fer.

THURSTON, Rb. H. — Friction and Lubrication. London, 1879, 8° 7 m. 80 pf.

Frottement et lubréfaction.

TWISDEN (Rev. John F.). — First Lessons in Theoretical Mechanics, 2nd ed. Post 8vo, pp. 244. Longmans 8s. 6d.

Premières leçons de mécanique théorique.

L. W. URQUHART, C. E. — Electric Light : Its Production and Use. Embodying Plain Directions for the Working of Galvanic Batteries, Electric Lamps, and Dynamo-Electric Machines. By L. W. Urquhart, C. E., Author of " Electro-Plating." Edited by F. C. Webb, M. I. C. E., M. S. T. E., etc. With numerous Illustrations, crown 8vo. Nearly Ready.

Lumière électrique. Sa production et son usage.

WATHERSTON (E. J.). — Railways. Our Railways : should they be Private or National Property? By E. J. Watherston. 1879. 1s.

Nos chemins de fer. Doivent-ils être une propriété privée ou nationale?

WHEELER (W. H.). — Hints to Highway Surveyors on the Repairs of Main Roads. 8vo, pp. 21. J. S. Barwick (Boston). Spons. 6d.

Conseils aux surveillants des routes sur les réparations des voies principales.

WILKINS, H. St. Clair. — A Treatise on Mountain Roads, Live Loads, and Bridges. London, 1880. 8°. 16 m. 50 pf.

Traité sur les routes de montagne, les charges roulantes et les ponts.

WILLIAMSON (B.). — An Elementary Treatise on the Differential

Calculus. 4th ed., revised and enlarged. Post 8vo. Longmans. 10s. 6d.

Traité élémentaire de calcul différentiel.

Wormell (Richard). — Thermodynamics. By Richard Wormell, M. A., D. Sc., Head Master of the Middle Class Corporation School London. With 41 Diagrams, 1s. 6d.

Thermodynamique.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Bernstein, Alx. — Die electrische Beleuchtung. Mit 16 in den Text gedr. Holzschn. Berlin, 1880. Springer. 8°. IV, 80 pp. 2 m.

L'éclairage électrique.

Bode, P. — Die Oberflächenspannung der Flüssigkeiten. Francfurt a. M., 1879 (Göttingen, Vandenhoeck et Ruprecht). 8°, 54 pp. Mit 2 Steintaf. 1 m. 40 pf.

La tension superficielle des fluides.

Blum, E. — Die hydraulischen Aufzüge im Eisenbahn-Hôtel zu Berlin, 1880. Polytechn. Buchh. 4°, 8 pp. Mit 3 Steintaf. 2 m. 50 pf.

Les appareils hydrauliques de l'hôtel des chemins de fer à Berlin.

Ebel, Mx. — Praktische Anleitung zum Gebrauche der graphischen Methoden bei Querschnittsberechnungen. Mit 9 lith. Taf. Freiburg i. Br., 1880. Herder. 8°. IV, 65 pp. 2 m. 60 pf.

Introduction pratique à l'emploi des méthodes graphiques pour le calcul des profils en travers.

Engesser, F. — Theorie und Berechnung der Bogenfachwerkträger ohne Scheitelgelenk. Mit verschiedenen der Praxis entnommenen Zahlenbeispielen. Mit 2 lith. Taf. Berlin, 1880. Springer. 8°. V, 48 pp. 2 m.

Théorie et calcul des poutres à treillis en arc, sans articulation au sommet, avec divers exemples numériques empruntés à la pratique.

Foeppl, A. — Ausgewählte Capitel der mathematischen Theorie der Bauconstructionen. I. Abth. A. u. d. T.; Theorie des Fachwerks. Mit 4 Taf. und vielen Holzschn. Leipzig, 1880. Felix. 8°. VIII, 135 pp. 6 m.

Chapitres choisis de la théorie mathématique des construc-

tions. 1re partie : Théorie des poutres à treillis, avec 4 planches et beaucoup de gravures sur bois.

FRANKE, J. H. — Die Grundlehren der trigonometrischen Vermessung im rechtwinkligen Koordinatensystem. Mit vielen Fig. im Text u. 7 lith. Taf. Leipzig, 1879. Teubner. 8°. XVI, 464 pp. 12 m.

Éléments de relevé trigonométrique dans le système de coordonnées rectangulaires.

HANDBUCH der Ingenieurwissenschaften in 4 Bdn. III, Bd. 2. Halfte. Leipzig, 1879. Engelmann. 8°. XVI u. p. 481 — 1158 u. XVI pp. Mit. 204 eingedr. Holzschn. u. 38 Steintaf. 28 m.

Manuel de la Science de l'Ingénieur, en 4 volumes. 3e volume, 2e partie.

HEINZERLING, F. — Der Eisenhochbau der Gegenwart. Systematisch geordnete Sammlung neuerer eiserner Hochbau-Constructionen. Zum Gebrauche bei Vorlesungen und Privatstudien, sowie bei dem Entwerfen, Berechnen und Veranschlagen von Eisenhochbauten zusammengestellt und mit Text begleitet. 1. u. 2. Heft. Aachen, 1878. Mayer. Fol. VI, 68 pp. Mit 139 eingedr. Holzschn. u. 6 Steintaf., VIII, 49 pp. Mit 45 eingedr. Holzschn. u. 8 Steintaf. 27 m. 40 pf.

Inhalt: 1. Hochbauten mit eisernen Pult-und Satteldächern. 14 m. — 2. Hochbauten mit eisernen Tonnendächern. 13 m. 40 pf.

Les principales constructions en fer de l'époque actuelle. Recueil méthodique des principales constructions modernes en fer.

—— Die Brücken den Gegenwart. Systematisch geordnete Sammlung der geläufigsten neueren Bruckenconstructionen, gezeichnet von Studirenden des Brückenbaues an der königl, rheinisch-westphälischen polytechnischen Schule zu Aachen. Zum Gebrauch bei Vorlesungen und Privatstudien über Brückenbau, sowie bei dem Berechnen, Entwerfen und Veranschlagen von Brücken zusammengestellt und mit Text begleitet. I. Abth. Eiserne Brücken. 4. Hft. Eiserne Bogenbrücken. Mit 6 lith. Taf., 2 lith. Texttaf. u. 15 1/2 Bogen Text mit 55 eingedr. Holzschn. Aachen, 1879, Meyer. IV, 56 pp. 14 m.

Les ponts de l'époque actuelle.

HERR. — Die generellen Vorarbeiten für den Oder-Lateral-Canal und den Weichsel-Oder-Canal. Zusammengestellt im Auftrage

des Provinzial-Ausschusses der Provinz Schlesien. Mit 4 Farbendr.-Taf. Breslau, 1880. Korn. 4°, IV, 36 u. 200 pp. 6 m.

Études d'un canal latéral à l'Oder et d'un canal de l'Oder au Wessel.

Königsberger, L. — Zur Geschichte der Theorie der elliptischen Transcendenten in den Jahren, 1826-29. Leipzig, 1879. Teubner. 8°. III, 104 pp. 2 m. 40 pf.

Sur l'histoire de la théorie des transcendantes elliptiques dans les années 1826-29.

Lange, Wth. — Das Holz als Baumaterial. Sein Wachsen und seine Gewinnung, seine Eigenschaften und Fehler. Nebst einer ausführlichen Beschreibung der gebräuchlichsten Methoden, die eine Verbesserung der Eigenschaften dieses Baumateriales bezwecken. [Imprägniren, Anstreichen, Rösten, Dämpfen, etc.] 1. Thl. Holzminden, 1879. Müller. 8°. 160 pp. Mit 10 Steintaf. 2 m. 60 pf.

Le bois considéré comme matière pour les constructions.

Meissner, G. — Die Hydraulik und die hydraulischen Motoren. Ein Handbuch für Ingenieure, Fabrikanten und Constructeure. Zum Gebrauche für technische Lehranstalten, sowie ganz besonders zum Selbstunterricht. II. Bd. Die Turbinen und Wasserräder. 6. u. 7. Heft. Jena, 1880. Costenoble. 8°, p. 283-394. Mit 12 Steintaf. Jedes Heft 3 m.

L'hydraulique et les moteurs hydrauliques.

Muller, K. — Die Locomotiven für Bahnen minderer Ordnung oder starker Steigung mit besonderer Berücksichtigung der Zahnradlocomotiven. Ein Hülfsbuch für Studierende und Eisenbahningenieure. Mit 33 Abbildgn. im Text u. 8 lith. Taf. München, 1880. Th. Ackermann. 4°. IV, 40 pp. 4 m. 80 pf.

Les locomotives pour les lignes secondaires ou à fortes pentes avec un examen spécial des locomotives à crémaillères.

Plenkner, W. — Ueber die Bewegung des Wassers in natürlichen Wasserlaufen. Eine hydraulische Studie. Mit 5 Taf. u. 4 Holzschn. Leipzig, 1879. Felix. 4° IV, 78 pp. 10 m.

Sur le mouvement de l'eau dans les cours d'eau naturels. Étude hydraulique.

Ritter, F. — Wasser und Eis. Eine Darstellung der Eigenschaften, Anwendung und Reinigung des Wassers für industrielle und

häusliche Zwecke und der Aufbewahrung, Benützung und künstliche Darstellung des Eises. Für Praktiker bearbeitet. Mit 35 eingedr. Holzschn-Abbilgn. Wien, 1879. Hartleben. 8°. IV, 310 pp. 4 m.

L'eau et la glace. Propriétés, emploi et purification de l'eau pour les usages industriels et domestiques. Conservation, emploi et production artificielle de la glace.

Saalschütz, L. — Der belastete Stab unter Einwirkung einer seitlichen Kraft. Auf Grundlage des strengen Ausdrucks für den Krümmungsradius. Mit Holzschn, im Text u. 3 lith. Taf. Leipzig, 1880. Teubner. 8°, XXXI, 247 pp. 9 m.

Colonnes ou verges chargées, soumises à l'action d'une force oblique.

Scheeffer, L. — Ueber Bewegungen starrer Punktsysteme in einer ebenen *n* fachen Mannigfaltigkeit. Berlin, 1880. Mayer und Muller. 8°, 64 pp. 1 m. 20 pf.

Sur les mouvements d'un système rigide de points dans un espace plan d'ordre N de multiplicité.

Schunke, H. — Beitrag zur Theorie der Stabilität schwimmender Körper. Kiel, 1880. Universitäts-Buchh. 8°, VII, 45 pp. Mit 1 Steintaf. 2 m.

Contribution à la théorie de la stabilité des corps flottants.

OUVRAGES ITALIENS.

Alessandrini (Eugenio). — Osservazioni sull' opera del comm. Alessandro Cialdi intitolata : Sul moto ondoso del mare e sulle correnti di esso, specialmente suquelle litorali. Roma, 1866. — Civittavecchia, stab. tip. A. Strambi, 1879. in-8. pag. 184.

Observations sur l'ouvrage du comm. Alexandre Cialdi qui a pour titre : Sul moto ondoso delle mare, etc.

Annali della R. Scuola Normale Superiore di Pisa. — Della Serie, vol. IV. — Scienze fisiche e matematiche, vol. II. Pisa, tip. Nistri e C., 1879. in-8, pag. 340. — Contiene : *Donati*, sulla misura elettrostatica delle forze elettromotrici d'induzione : tesi. — *Tonelli*. Sul teorema di addizione delle funzioni abeliane. — *Pennacchietti*. Sugl'integrali comuni a più problemi di dinamica. — *Bianchi*. Sulle superficie applicabili ; estratto dalla dissertazione di laurea. — *Gremigni*. Sulla theoria delle linee di curvatora :

tesi. — *Bianchi.* Ricerche sulle superficie a curvatura costante e sulle ellicoidi : tesi.

Donati. Sur la mesure statique des forces electro-motrices d'induction.

Tonelli. Sur le théorème d'addition des fonctions abéliennes.

Pennacchietti. Sur les intégrales communes à plusieurs problèmes de dynamique.

Bianchi. Sur les surfaces applicables.

Gremigni. Sur la théorie des lignes de courbure.

Bianchi. Recherches sur les surfaces à courbure constante et sur les héliçoïdes.

ANNALI di matematica pura ed applicata, diretti dal prof. Francesco Brioschi, serie II, tomo IX, fasc. 3 (febbraio 1879). Milano, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. in-4. da p. 173 a 252. — Contiene : *Tonelli.* Sopra un teorema della teorica delle funzioni. — *Henneberg.* Ueber die elastichen Schwingungen einer isotropen Kugel ohne Einwirkung von äusseren Krösten. — *Schering.* Nella solennità del centenario della nascita di Carlo Federico Gauss (trad. del prof. Beltrami). — *Christoffel.* Ueber die canonische Form der Riemannschen Integrale erster Gattung.

Annales de mathématiques pures et appliquées.

Tonelli. Sur un théorème de la théorie des fonctions.

Henneberg. Sur les vibrations élastiques d'une sphère isotrope sans intervention de forces extérieures.

Schering. Solennité du centenaire de la naissance de Charles-Frederic Gauss.

Christoffel. Sur la forme canonique des intégrales de Rieman de première espèce.

ANNALI di matematica pura ed applicata, diretti dal prof. Francesco Brioschi, serie II, tomo IX, fasc. 4 (agosto 1879). Milano, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. in-4, da pag. 253 a 313, fine. — Quattro fascicoli formano un volume che costa L. 16. — Contiene : *Christoffel.* Ueber die canonische Form der Riemannschen Integrale erster Gattung (cont. e fine). — *Harnack.* Ueber algebraische Differentiale. — *Maiet.* On a Problem in Algebra.

Annales de mathématiques pures et appliquées.

Christoffel. Sur la forme canonique des intégrales de Riemann de première espèce.

Harnack. Sur les différentielles algébriques.

Malet. Sur un problème d'algèbre.

Ascoli. — Sulla rappresentabilità di una funzione a due variabili per serie doppia trigonometrica.

Sur la représentation d'une fonction à deux variables par une serie trigonométrique double.

Auffray (F.). — De l'influence des cours d'eau sur les propriétés riveraines, en droit romain, etc. Paris, imp. Mersch. in-8, pag. 285.

Bassi (ing. agr. Rinaldo). — Tavola numerica pella riduzione all' orizzonte delle distanze lette sulla stadia da 0° 15′ a 40° sessagesimali. Delebio, presso l'autore (Sondrio, tip. Moro), in-8, pag. 340. — In broch. L. 4, legato in tela L. 5.

Table numérique pour la réduction, à l'horizon, des distances lues à la Stadia.

Bertina (C.), reggente direttore generale delle S. F. R. Strade ferrate Romane. — Risposte al Questionario della Commissione parlamentare d'inchiesta sull'esercizio delle ferrovie italiane. Firenze, stab. di G. Civelli. In-4°, pag. xvi-246; ed allegati B. C. e D. (Allegato B-Monografia dell'armamento, pag. 55. Allegato C-Monografia delle stazioni; pag. 23. Allegato D-Monografia delle prese d'acqua, pag. 19).

Bertina (C.), directeur général des S. F. R. Chemins de fer romains. Réponses au questionnaire de la commission parlementaire d'enquête sur l'exercice des chemins de fer italiens.

Busieri (prof. Andrea). — Proseguimento del progetto pel nuovo ingresso alla via Nazionale di Roma sulla Piazza di Venezia, e compimento della via di Corso al Monte Capitolino : studii e disegni. Roma, tip. Artero e C. in-8, gr. pag. 16.

Continuation du projet pour la nouvelle entrée de la rue Nationale de Rome, sur la place de Venise, et complément de la rue du Corso au Mont-Capitolin. Études et dessins.

Cayley (Arturo). — Trattato elementare delle funzioni ellittiche. Trad. di F. Brioschi. Milano, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. in-8, pag. 446.

Traité élémentaire des fonctions elliptiques. Traduit par F. Brioschi.

Clericetti. — Teoria dei sistemi composti in generale e specialmente dei moderni ponti sospesi americani.

Théorie des systèmes composés en général et en particulier des ponts suspendus modernes en Amérique.

Corpo Reale del Genio Civile : Servizio tecnico dei porti, spiaggie e fari, provincia di Rovigo. Progetto per la costruzione di un faro di scoperta di 2° ordine ed edifizii annessi da erigersi sulla punta di Maistra in provincia di Rovigo. Capitolato speciale d'appalto. Roma, tip. eredi Botta, 1879, in-4, pag. 43.

Corps royal du génie civil. Service technique des ports, plages et phares de la province de Rovigo. Projet de construction d'un phare de second ordre et édifices annexes à élever sur la pointe de Maistra, province de Rovigo.

Corpo Reale del Genio Civile : Servizio tecnico dei porti, spiagge e fari, provincia di Venezia; faro di Sacca di Piave. Progetto per la fornitura ed impianto di un apparecchio lenticolare di 2° ordine a luce bianca fissa illuminante $^5/_6$ d'orizzonte pel faro suddetto. Capitolato d'appalto. Roma, tip. Eredi Botta. In-4, pag. 22.

Corps royal du génie civil. Service technique des ports, rivages et phares. Province de Venise. Phare de Sacca di Piave. Projet pour la fourniture et l'installation d'un appareil lenticulaire de 2e ordre, à lumière blanche, éclairant les $^5/_6$ de l'horizon.

Curioni (Giovanni). — L'elasticità nella teoria dell'equilibrio e della stabilità delle vôlte. Riduzione del metodo generale per le applicazioni pratiche. Torino, stamp. Reale di G. B. Paravia e C., 1878, in-4, pag. 23.

L'élasticité dans la théorie de l'équilibre et de la stabilité des voûtes. Réduction de la méthode générale pour les applications pratiques.

Dei Consorzi di Irrigazione, di Difesa, di Scolo e di Bonifica. Commento delle disposizioni contenute nel Codice civile. Legge sui Lavori pubblici, Legge 29 maggio 1873, e Disegni di legge sulle bonifiche. Un volume in-8, grande. Prezzo Lire 5.

Des associations d'irrigation, de défense, d'assainissement et d'amélioration. — Commentaire des dispositions contenues dans le Code civil.

Della Bona (avv. prof. Giovanni). — Saggio di una esposizione sistematica della scienza statistica. Roma, tipogr. eredi Botta. In-4, pag. 40.

Essai d'une exposition systématique de la science de la statistique.

De Mauro (avv. Mario) — Della statistica e dei suoi limiti : prolu

sione al corso di statistica per l'anno 1879. Catania, tip. Pastore, 1879. In-8, pag. 48. L. 1.

De la statistique et de ses limites. Introduction au cours de statistique pour l'année 1879.

De Dominicis (Antonio). — La ferrovia San Benedetto-Ascoli, capoluogo di provincia, dovrà costrursi a tipo normale, ovvero a sezione ridotta? Roma, tip. fr. Pallotta. In-8, p. 16.

Le chemin de fer de San-Benedetto à Ascoli, chef-lieu de province, doit-il être construit avec la voie normale ou avec une section réduite?

D'Ovidio (Enrico). — Studio delle cubiche gobbe mediante la notazione simbolica delle forme binarie. Torino, Stamp. Reale ditta G. B. Paravia e C. di I. Vigliardi, 1879. In-4, pag. 75.

Étude sur les cubiques gauches au moyen de la notation symbolique des formes binaires.

Ferrini (Rinaldo). — Energia fisica. Con 15 incisioni. Milano, U. Hoepli lib.-edit. (tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C.), 1879. In-32, p. v-108. L. 1 50. — Manuali Hoepli.

Énergie physique.

Fiammetta (Salvatore di Giov.). — Nuovo corso di disegno geometrico, contenente costruzioni grafiche, projezioni, prospettiva, ricerca delle ombre, disegno architettonico, topografico, meccanico, ecc., ecc., per le scuole tecniche, magistrali, professionali, per gl'istituti e le accademie di belle arti, ecc. (Approvato dal Consiglio direttivo del R. Istituto di belle Arti di Napoli). Parte I, 2ª ediz. migliorata e corretta. Napoli, Enrico Detken edit. (Palermo, tip. P. Montaina e C.). In-4, pag. 64 con 10 grandi tav. litogr. L. 4.

Nouveau cours de dessin géométrique, contenant les constructions graphiques, projections, perspective, recherche des ombres, etc.

Fornioni (C.).— Le recentimeravi gliedell' elettricità e dell' acustica. Milano. — 1879. 16°, 260 pp. 3 m. 50 pf.

Les merveilles récentes de l'électricité et de l'acoustique.

Gabba (prof. Luigi). — Trattato di analisi chimica generale ed applicata, ad uso delle scuole d'applicazione degli ingegneri, delle università, ecc. Parte prima : Ricerche chimiche generali qualitative e quantitative, con 56 figure intercalate nel testo. Mi-

lano, U. Hoepli edit. (tipogr. Bernardoni di C. Rebeschini e C.). In-8 gr. pag. xxx-533. L. 12.

Traité d'analyse chimique générale et appliquée, à l'usage des écoles d'application d'ingénieurs, des universités, etc. 1re partie : Recherches chimiques générales qualitatives et quantitatives.

Gabaglio (prof. Antonio). — Storia e teoria generale della statistica. Milano, U. Hoepli lib.-edit. (tip. F. Manini). In-8, pag. xvi-600, con 9 tav. miniate. L. 12. — Rettifica del num. 717.

Histoire et théorie générale de la statistique.

Gambardella (prof. Enrico). — Lezioni elementari di macchine a vapore per uso dei capitani di lungo corso, costruttori navali e macchinisti. Parte II : Della potenza del vapore acqueo applicata alle macchine a vapore marine. Napoli, presso Nicola Jovene, lib.-edit. tip. 1879. In-8, pag. viii-220.

Leçons élémentaires de machines à vapeur à l'usage des capitaines au long cours, des constructeurs de navires et des mécaniciens. 2e partie : De la puissance de la vapeur d'eau appliquée aux machines à vapeur marines.

Ghilardi (L). — Corso elementare di topografia. Lezioni teorico-pratiche sulla lettura delle carte e levate a vista, corredate di numerosi esempi. Bologna, tipogr. della Soc. Azzoguidi, 1879. In-16, pag. 181, con 6 tav. L. 1.

Cours élémentaire de topographie.

La Mensa (Giovanni). — Compasso angolare per disegnare archi di circolo di grande raggio. Palermo, tip. del Giornale di Sicilia, 1879. In-4, pag. 24 con una tav.

Compas angulaire pour dessiner les arcs de cercle de grand rayon.

Lampani (Gioachino). — L'Italia sotto l'aspetto idrografico. Parte I : Fiumi, torrenti e canali. Notizie idrometriche, storiche, fisiche, statistiche, topografiche, idrologiche, meteoriche, strategiche, commerciali, ecc. Dispensa XVI. Roma, tip. di E. Sinimberghi. In-4. Da pag. 785 a 848. L. 1 50.

L'Italie sous le rapport hydrographique. 1re partie : Fleuves, torrents et canaux.

Le Acque nel diritto civile Italiano. Due volumini in-8, divisi ognuno in 2 parti. L. 20.

Les eaux dans le droit civil italien.

Lo Forte (capit. Francesco). — Relazione su di alcune esperienze relative allo impiego della dinamite nel dissodamento dei terreni presso la Colonia agricola penale dell'isola di Pianosa. Roma, tip. C. Voghera. In-8, pag. 18.

Rapport sur quelques expériences relatives à l'emploi de la dynamite dans le défrichement des terres, faites à la colonie pénitentiaire agricole de l'île de Pianosa.

Lommel (ing.). — Memorie sul valore comparativo delle linee franco-italiane del Sempione e del monte Bianco : versione dal francese di C. S. Domodossola, tip. Porta. In-8, pag. 15.

Mémoire sur les valeurs comparatives des lignes franco-italiennes du Simplon et du mont Blanc.

Macagno (dott. Ippolito). — Ricerche chimico-idrologiche sulle acque potabili e d'irrigazione di Palermo e suoi dintorni. Palermo, tip. Virzi, 1879.

Recherches chimico-hydrologiques sur les eaux potables et d'irrigation de Palerme et de ses environs.

Manfredi (ing. Angelo). — Sopra il progetto di una nuova inalveazione del Tevere attraverso i prati di Castello : osservazioni; con appendice sull'ultima rotta del Po. Bologna, Regia tipogr., 1879. In-8, pag. 28.

Sur le projet d'un nouveau détournement du Tibre à travers les prairies de Castello : observations avec un appendice sur la dernière rupture du Pô.

Marzocchi (Claudio). — Il nuovo ponte costrutto dal Genio civile sul torrente Fegana nella strada nazionale Livorna-Mantova. Roma, tipogr. Voghera, 1879. In-8, pag. 52 e 5 tav.

Le pont nouveau construit par le génie civil sur le torrent Fegana, sur la route nationale de Livourne à Mantoue.

Oliveti (A.) e Fadda (S.). — La locomotiva, sua costruzione ed arte di guidarla. Parte I : Della caldaia. Con 162 incisioni e 4 tav. litografate Torino-Roma, E. Loescher edit. (tip. V. Bona). In-8, pag. XI-244. L. 3.

La locomotive, sa construction et l'art de la conduire. 1re partie : De la chaudière.

Paladini (Leone). — La ferrovia del Sahara fra Cabes e il Sudan, e sua evidente correlazione cogli interessi commerciali d'Italia.

proposta e dimostrata. Cagliari, tip. del Commercio, 1879. In-8, pag. 64.

Le chemin de fer du Sahara entre Cabes et le Soudan, et sa corrélation évidente avec les intérêts commerciaux de l'Italie.

Panini (ing. Domizio). — Sulla ferrovia Parma-Brescia : lettere. Castiglione-Stiviere, tip. L. Bignotti. In-4, pag. 14.

Sur le chemin de fer de Parmes à Brescia.

Pizzareilo (Antonio). — La coesione nei liquidi misurata per mezzo del calore che essi acquistano o perdono nel riscaldarsi o nel raffreddarsi. Macerata, tip. Mancini. In-8, pag. 53.

La cohésion dans les liquides mesurée au moyen de la chaleur qu'ils acquièrent ou perdent en se réchauffant ou en se refroidissant.

Ritter (prof. Guguielmo). — La statica delle vòlte nelle gallerie. Traduzione di Giuseppe Martelli, con 17 inc. e 2 tav. litografate. Milano, U. Hoepli edit.-libr. (tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C.). In-8, pag. XI-70. L. 3.

Statique des voûtes dans les galeries. Traduction de Giuseppe Martelli.

Saccardo (ing. Marco). — Determinazione grafica delle curve di flessione, con applicazione al problema delle travature continue Roma, tip. del Genio civile, 1879. In-8, pag. 40 con 2 tav. — Estr. dal Giorn. del Genio civile, anno 1879.

Détermination graphique des courbes de flexion, avec applications au problème des travées continues.

Scola (ing. G.). — Sulla discussione dell'equazione di II grado fra due variabili. Reggio-Calabria, tip. Siclari, 1879. In-8, pag. 48.

Sur la discussion des équations du deuxième degré à deux variables.

Sang (Édouard). — Nouveau calcul des mouvements elliptiques. Turin, impr. Royale. In-4, pag. 16.

Dalle Memorie della R. Accademia delle scienze di Torino, serie II, tom. XXXII.

Societa Italiana per le strade ferrati meridionali. — Riposte al questionario della commissione parlamentari d'inchiesta sull'-exercizio delle ferrovie italiane. 1879.

Société italienne des chemins de fer méridionaux. — Réponses au questionnaire de la commission parlementaire d'enquête.

WEISBACH (Giulio). — Meccanica razionale. Traduzione dell'ing. Giovanni Sacheri sulla 5ª ediz. tedesca, riveduta ed ampliata da Gustavo Hermann. In tre libri con 1034 incisioni nel testo. Libro primo, preceduto da un capitolo : Nozioni preliminari di analisi. Torino, Unione tip.-edit. In-8, pag. VII-480. L. 12.

Mécanique rationnelle.

ZANELLI (Vincenzo). — La nuova strada tra Venezia e la Terraferma. Sul progetto del cav. Antonio Baff, ingegnere. Cenni ed apprezzamenti. Venezia, tip. del Commercio, pag. 55 ed una tav.

La nouvelle route entre Venise et la terre ferme.

ZANOTTI-BIANCO (Ottavio). — Il problema meccanico della figura della Terra, esposto secondo i migliori autori. Parte prima. Torino, Frat. Bocca edit. (stamp. dell'Unione tipog.). In-8, pag. XII-304. L. 8.

Le problème mécanique de la figure de la terre, d'après les meilleurs auteurs. 1re partie.

N° 53

ETUDE

SUR

L'APPAREIL DE M. DE CALIGNY

Installé à l'écluse de l'Aubois

(Canal latéral à la Loire).

MISSION SPÉCIALE

DE

M. François VALLÈS, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

Indications préléminaires. — Par une dépêche en date du 9 mars 1878 confirmée par celle du 20 avril de la même année, M. le Ministre des Travaux Publics m'a confié la mission de faire un rapport sur l'utilité pratique d'un appareil de l'invention de M. de Caligny, installé à l'écluse de l'Aubois, ayant pour objet d'introduire une économie notable dans les quantités d'eau nécessaires au passage des écluses dans les canaux de navigation.

Je m'étais déjà occupé de cette question à l'époque des expériences faites à Chaillot sous les yeux d'une Commission administrative dont je fus nommé rapporteur. Le compte rendu du travail de cette Commission porte la date du 22 mai 1866.

Conformément à l'avis de cette Commission, M. le Ministre a décidé qu'il serait fait aux frais de l'État une application de l'appareil de M. de Caligny à l'écluse de l'Aubois, dépendant du canal latéral à la Loire.

Plus tard, après l'installation de l'appareil, désireux d'apprécier son fonctionnement dans des conditions plus favorables que celles qu'il avait été possible de réaliser à Chaillot, je me suis rendu sur les lieux et j'ai procédé à un examen aussi complet qu'il m'a été possible de le faire du jeu de cette ingénieuse machine et des avantages pratiques qu'elle peut procurer à la navigation des canaux.

Lorsque je suis allé, dans le mois d'octobre 1868, à l'écluse de l'Aubois, pour procéder à ces recherches, les dispositions adoptées pour l'établissement et le fonctionnement de cet appareil étaient telles que je les ai décrites dans un Mémoire envoyé le 14 janvier 1869 à l'Académie des Sciences. Ce mémoire, soumis à une Commission composée de MM. Combes, de Saint-Venant et Philips, n'ayant pas été imprimé, je suis dans la nécessité, pour que le lecteur soit parfaitement mis au courant de la question, de reproduire ici les détails descriptifs et explicatifs de l'installation d'origine insérés dans le dit mémoire (*).

Cette reproduction est d'autant plus nécessaire, que, depuis cette époque, la manœuvre et certaines dispositions ont été modifiées et qu'il serait difficile, si l'on n'était pas bien fixé sur ce qu'était l'appareil dans le passé, de se rendre un compte exact, d'abord, des causes qui ont déterminé les changements dont je parle; en second lieu, des inconvénients que ces changements ont eu pour objet d'éviter, enfin des améliorations qu'ils ont introduites, principalement au point de vue pratique, dont, en matière de service public, les exigences doivent avant tout être satisfaites.

Tels sont les motifs qui rendent nécessaire la reproduction de cette partie de mon précédent mémoire.

(*) Le rapport lu à l'Institut, par M. de Saint-Venant, a été reproduit dans le Cahier de mars 1869 des *Annales*.

En outre, cette reproduction rendra plus facile la conception de la marche actuelle de l'appareil. Il est rare que ces retours rétrospectifs n'aient pas leur utilité, L'histoire du passé n'est-elle pas en toutes choses l'instruction de l'avenir ?

Une année s'est écoulée entre la date de la mission que m'a confiée le Ministre et celle ou je me suis rendu sur les lieux.

Cela tient à ce que, pendant cette année, d'importants remaniements ont été apportés dans l'installation primitive de l'appareil, soit pour simplifier la manœuvre de sa partie tubulaire, soit pour la création d'un bassin dit d'épargne, qui, fonctionnant conjointement avec le jeu des tubes, devait réaliser et a réalisé en effet une notable amélioration dans les résultats obtenus.

Lorsque ces divers travaux ont été terminés, je me suis rendu à l'Aubois et j'ai opéré dans cette localité du 12 au 24 Mai 1879.

Son excellence Monsieur le Ministre des Travaux Publics, après avoir reçu mon rapport, l'a transmis à la Commission des Annales.

La Commission, par l'organe de son secrétaire, m'a fait connaître le 14 mars 1880 que, dans sa séance du 12 du même mois, elle a admis en principe l'insertion du rapport dans les Annales, que toutefois elle estime qu'il y a lieu d'en réduire l'étendue et d'en rendre la lecture plus facile en y joignant un dessin représentant l'ensemble des dispositions adoptées et les détails du mécanisme qui sert à la manœuvre.

Cette dernière partie des injonctions de la Commission a été parfaitement remplie par M. l'Ingénieur Poulet, chargé du service de la partie du canal latéral à la Loire sur laquelle est située l'écluse de l'Aubois. Les dessins envoyés par M. Poulet donneront toute satisfaction au désir exprimé par la Commission. Ils sont, comme on devait s'y

attendre, d'une très grande exactitude, et témoignent du zèle et de l'intelligence avec lesquels cet Ingénieur s'applique à se rendre maître de tous les détails de son service.

Quant à la réduction de l'étendue du mémoire, j'y ai procédé de manière à ne rien négliger d'essentiel.

Dans mon rapport au Ministre, j'ai dû insister sur un assez grand nombre de détails propres à justifier l'exactitude des expériences, et à bien préciser la valeur pratique des résultats qu'elles ont fournis. Ces garanties de sincérité, indispensables à l'administration, sont moins nécessaires au lecteur; il suffit qu'il sache qu'elles sont consignées dans un rapport officiel, où l'on pourra les retrouver au besoin,

A ce point de vue, j'ai cru pouvoir supprimer tout ce qui se rapporte aux études que j'ai dû faire pour m'éclairer sur les pertes d'eau qui ont lieu par voie de filtration à travers les parois du bassin d'épargne, et pour apprécier la part d'influence que ces pertes ont pu exercer sur les chiffres bruts fournis par les expériences. Négliger d'entrer dans cette discussion eût été s'exposer à avoir des résultats fort erronnés. Mais cet ordre de considérations dont j'ai dû m'occuper, parce qu'il m'était imposé par l'état des lieux, n'intéresse en aucune façon la constitution organique de l'appareil de M. de Caligny, et disparaîtra de lui-même lorsque les bassins d'épargne seront étanches. Il ne revêt donc ici qu'un caractère purement accidentel; dès lors, au point de vue de la mesure du rendement normal de l'appareil, les détails qui s'y rapportent peuvent être supprimés.

Mais il m'a paru indispensable de conserver tout ce qui concerne l'appareil en lui-même, son installation première, les modifications et améliorations dont l'expérimentation de l'Aubois, qui n'a pas duré moins de onze années, a fait reconnaître l'utilité.

Et parce qu'il est bien constaté aujourd'hui que suivant la nature des besoins auxquels le service d'un canal doit

satisfaire, c'est-à-dire suivant qu'il importe avant tout, ou bien de réaliser un maximum d'économie dans la consommation d'eau, ou bien d'assurer dans un un temps donné le passage du plus grand nombre possible de bateaux, parce que, dis-je, il est bien constaté que, dans ces diverses circonstances, il y a avantage à faire marcher l'appareil suivant des fonctionnements différents, nous avons cru ne devoir rien omettre de ce qui se rapporte aux ressources qu'offre cet appareil pour se prêter de la manière la plus utile aux multiples exigences de la pratique.

Telle est la nature des considérations qui nous ont dirigé, soit pour la suppression, soit pour le maintien, des diverses parties du rapport.

CHAPITRE PREMIER.

ÉTAT DES LIEUX ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL EN OCTOBRE 1868.

Détails descriptifs. — Faisons d'abord connaître succintement les dispositions principales de l'établissement construit à l'écluse de l'Aubois.

Qu'on imagine un conduit ou tuyau horizontal en maçonnerie d'une forme, sinon tout à fait semblable, du moins analogue à celle des égouts de Paris, offrant au passage des eaux une section mouillée sensiblement égale à celle d'un cylindre de $1^m,40$ de diamètre intérieur.

Ce tuyau est placé en entier en contre-bas du niveau des eaux du bief d'aval, niveau qui surmonte de $1^m,80$ le point le plus bas de sa section mouillée.

En général, ce tuyau s'étendra depuis l'intérieur des portes d'aval jusqu'à l'extérieur de celles d'amont, longera le bajoyer, et aura même longueur que lui, c'est-à-dire 42 mètres environ.

Mais à l'Aubois, où l'on avait de l'espace à sa disposition, son tracé de l'aval à l'amont est curviligne et il forme ainsi un arc dont le bajoyer de l'écluse est la corde. Le développement de cet arc est d'environ 62 mètres. Par son extrémité inférieure, le tuyau vient déboucher dans l'enclave des portes d'aval. Cette ouverture communique donc ainsi librement avec les eaux de l'écluse, mais elle s'y trouve complètement noyée, même lorsque ces eaux sont descendues au point le plus bas, lequel correspond au niveau même du bief d'aval. Les trois *fig.* 1, 12, 13 de la Pl. 26 représentent en plan et suivant deux coupes longitudinales la disposition des lieux. Les *fig.* 2, 3, 4, 8 font connaître les sections du tuyau maçonné sur les divers points de son parcours (*).

Du côté de l'amont, partie destinée à recevoir les eaux du bief supérieur, le tuyau maçonné est fermé et manque ainsi de communication directe avec ce bief. Toutefois, une semblable communication peut s'établir suivant les besoins avec ce bief, et nous allons maintenant expliquer quelles ont été les dispositions adoptées dans cette partie de l'appareil pour ouvrir et fermer à volonté la communication du tuyau avec les eaux d'amont.

A cet effet, sur le ciel du tuyau horizontal et vers les portes d'amont, on a découpé une ouverture circulaire horizontale de $1^m,40$ de diamètre ; le rebord de cette ouverture taillé en biseau forme le siège d'un tube cylindrique vertical en tôle de $1^m,48$ de diamètre, lequel est mobile de bas en haut, et qui, dans ce mouvement d'ascension vertical, peut être remonté de $0^m,70$ au-dessus de son siège.

Si maintenant l'on suppose que toute cette partie de

(*) La *fig.* 5 n'a pour objet que la porte qui interrompt, quand on veut, la communication de l'appareil avec le bief d'amont. Il serait utile que cette communication fût établie au moyen d'un orifice plus grand.

l'appareil est établie dans une chambre communiquant avec le bief d'amont (voir *fig.* 6) et qu'elle est plongée par conséquent dans les eaux de ce bief, on conçoit que tant que ce tube vertical restera sur son siège, l'eau qui l'entoure n'aura aucun moyen de s'échapper. Mais aussitôt qu'il sera soulevé et qu'il se fera ainsi un vide entre son extrémité inférieure et la couronne circulaire sur laquelle il reposait précédemment, l'eau ambiante se précipitera par ce vide dans le tuyau horizontal et sera entraînée vers le sas; puis, en baissant le tube, la communication de celui-ci avec le bief d'amont sera de nouveau interceptée. L'on pourra donc ainsi, par l'ascension ou l'abaissement de cette partie mobile de l'appareil, ouvrir et fermer à volonté cette communication.

Il résulte de la description que nous venons de donner que toutes les fois qu'il s'agira d'envoyer de l'eau d'amont au sas, nous aurons un moyen facile, par l'élévation du tube en question, de résoudre cette partie du problème.

Mais, dans d'autres circonstances, il faudra au contraire dégager le sas et en faire sortir l'eau, qui devra alors se diriger vers le bief d'aval. Pour obtenir ce résultat, il suffira d'installer un second tube vertical à côté du premier, et voici dans quelles conditions cette installation doit être faite.

On découpe à cet effet, sur le ciel du tuyau horizontal, une seconde ouverture de $1^{m},40$ de diamètre, et l'on installe sur cette ouverture un autre tube cylindrique en tôle, ayant comme le premier un diamètre de $1^{m}48$, et susceptible comme lui de s'élever au-dessus de son siège et de descendre sur ce siège (voir *fig.* 7).

Si cette ouverture, quoique voisine de la précédente, est faite en dehors de la chambre qui entoure celle-ci et qui communique avec le bief d'amont, il est évident qu'elle n'établira aucune communication entre le sas et l'amont, mais on pourra s'en servir pour faire déboucher les eaux d'aval vers le sas et réciproquement.

En effet, de même que l'ouverture qui forme le siège du premier tube est entourée par les eaux du bief d'amont, celle qui forme le siège du deuxième tube et qui, nous l'avons dit et nous l'avons fait remarquer, est placée bien au-dessous du niveau d'aval, cette ouverture, disons-nous, est mise en communication directe avec un vaste fossé dont les eaux la recouvrent et l'entourent, fossé qui débouche librement dans le bief inférieur. Au point de vue le plus simple des conceptions, on peut considérer les deux tubes verticaux comme remplaçant les ventelles des portes.

Faut-il en effet remplir le sas, au lieu d'ouvrir les ventelles d'amont? on n'a qu'à soulever le premier tube, les eaux du bief d'amont s'écoulent vers l'aval du sas et le remplissage s'effectue rapidement par une section d'écoulement qui dépasse un mètre carré et demi. Faut-il au contraire vider le sas? Au lieu d'ouvrir les ventelles d'aval, on soulève le second tube, les eaux du sas se précipitent alors dans le tuyau horizontal avec une vitesse dirigée en sens inverse de la précédente, s'échappent par la voie qu'a ouverte l'ascension du tube et entrent ainsi dans le fossé qui en ce point baigne le tuyau, fossé qui n'est autre chose qu'un appendice latéral du bief d'aval.

Nous pouvons d'après cela, sans qu'il y ait de confusion possible, appeler le premier tube vertical tube d'amont, et le deuxième, tube d'aval. Faisons remarquer en passant que ces deux tubes, considérés à ce simple point de vue de la vidange et du remplissage immédiats du sas, sont bien préférables au système des ventelles adopté pour cet objet; car ils opèrent plus vite, ils provoquent moins d'agitation dans le sas, et diminuent dans une notable proportion les pertes d'eau et l'usure des portes.

Occupons-nous maintenant des effets utiles que cette installation permet de réaliser pendant le remplissage du sas. Mais disons, au préalable, comment les opérations doivent être conduites.

Manœuvre de l'appareil pour le cas de la vidange de l'écluse. — Nous parlerons d'abord de la vidange, pour laquelle la manœuvre de l'appareil est d'une grande simplicité. Dans ce cas, on ne se sert que du tube d'aval; nous supposerons même, pour un instant, que le tube d'amont n'existe pas. Or, voici comment on procède :

Au début de l'opération, on soulève un instant le tube d'aval et on le laisse retomber sur son siège.

Pendant le soulèvement, la charge qui existe dans le sas détermine l'écoulement de l'eau dans le tuyau horizontal, et cette eau vient s'échapper dans le fossé d'aval par l'ouverture que ce soulèvement a produite. Si alors on fait retomber le tube sur son siège, le passage vers l'aval se trouvera intercepté; mais le travail de l'eau, n'étant pas pour cela subitement anéanti, provoquera l'ascension du liquide dans le tube. En vertu de la vitesse acquise, cette ascension atteindra un niveau naturellement plus élevé que celui qui conviendrait aux seules pressions hydrostatiques du liquide en repos, et, en effet, on voit alors s'échapper par l'ouverture supérieure du tube un volume considérable de liquide. Comme le niveau de cette ouverture dépasse naturellement celui du bief d'amont, tout ce liquide peut être ainsi restitué à ce bief.

En général, l'effet atteint va nécessairement en diminuant à chaque période ; on s'arrêtera lorsqu'il n'aura plus qu'une valeur qui, eu égard aux besoins du service public, cesserait d'être en rapport utile avec la perte de temps que son exhaussement exigerait.

Examinons maintenant ce qui se passe dans l'appareil, lorsqu'un déversement s'est opéré, afin d'en déduire l'instant le plus opportun pour une nouvelle levée du tube.

Au moment précis où le déversement cesse, l'eau est évidemment plus élevée dans le tube que dans le sas, il y aura donc pression du premier vers le second, et par conséquent l'eau tendra à rentrer dans le sas; comme cette

rentrée se fera avec une certaine vitesse, il en résultera qu'au moment où elle cessera, ce sera au contraire le niveau du sas qui sera plus élevé que celui du tube, et par suite le liquide aura une tendance à retourner du sas dans le tube. Il se produira ainsi une série d'oscillations analogues à celles qui ont lieu dans les vases communiquants et dont nous avons eu l'occasion de constater à Chaillot le parfait isochronisme.

On conçoit, d'après ces détails, qu'au point de vue de l'effet utile, ce serait une faute de lever le tube au moment même où le déversement vient de cesser.

En effet, par cette opération, on laisserait aller en pure perte vers l'aval toute l'eau du tube dont le volume est alors à son maximum; en outre, le niveau du sas étant à cette époque de l'oscillation à son point le plus bas, l'eau s'en échapperait avec une charge diminuée qui rendrait moindre son travail de descente vers l'aval.

On voit donc que l'instant le plus favorable pour la levée du tube est celui où le mouvement de descente de l'eau dans le tube s'achève. Car, d'une part, c'est alors que le volume d'eau du tube, qui va descendre vers l'aval sans produire d'effet utile, sera le moindre possible et, d'autre part, l'eau venant en même temps du sas, et qui est la véritable puissance motrice du déversement ultérieur, s'écoulera sous l'influence de la plus grande charge qui puisse se produire pendant toute la durée de cette oscillation qui a fait retour vers le sas.

Ces détails sont une conséquence trop évidente de ce qu'on sait des mouvements oscillatoires des liquides pour qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point.

Mais il est nécessaire de s'arrêter sur quelques considérations relatives à l'écoulement qui se produit du sas vers l'aval pendant le temps que le tube reste levé.

Aussitôt que ce tube quitte son siège pour opérer son ascension, l'eau commence à couler, et si, pour un instant,

on suppose la charge constante, la vitesse de cet écoulement partant de zéro, à cause de l'inertie, et augmentant graduellement finirait par atteindre sensiblement celle due à la charge, sans les résistances passives provenant soit du frottement des filets fluides entre eux, soit du frottement de ceux de ces filets qui sont en contact avec les parois mouillées du tuyau horizontal, soit des déviations diverses qu'ils peuvent subir dans leur cours.

L'analyse complète de ces résistances est une question délicate que M. de Caligny s'est déjà occupé de résoudre et sur laquelle il se propose de porter de nouveau son attention ; mais ce qui précède est suffisant pour faire concevoir qu'à partir du moment précis où le tube se lève, il faudra qu'il s'écoule un certain temps avant que toute la masse liquide qui occupe le tube horizontal ait acquis une vitesse donnée quelconque comprise entre zéro et celle limite due à la charge. Or, comme c'est le travail de cette masse en mouvement qui, lorsque le tube sera baissé devra produire l'ascension ultérieure du liquide vers l'amont, on voit qu'il importe de lui laisser le temps d'acquérir un degré de vitesse convenable et en rapport avec les résistances qu'elle rencontre, degré au delà duquel le volume d'eau qu'on rèleverait en plus vers l'amont par une augmentation de vitesse serait plus que compensé par celui qui se serait perdu à l'aval pendant le temps écoulé pour obtenir une vitesse supérieure. Cela suppose d'ailleurs que la charge reste constante dans le sas. Or, comme au contraire elle diminue avec l'écoulement, il résulte de là qu'avec le temps il se produit un effet inverse du précédent, qui contribue à faire perdre une grande partie, sinon la totalité, du bénéfice résultant d'un prolongement de la durée, effet qui pourrait même changer le bénéfice en perte.

Ainsi, en général, il faut après chaque levée du tube attendre le temps nécessaire pour que, eu égard aux circonstances hydrauliques dans lesquelles on se trouve au

moment de cette levée, la vitesse convenable qui doit se produire dans le tuyau horizontal soit acquise, et il faut s'empresser de l'abaisser aussitôt que cet état est atteint. On n'aura ainsi dépensé et perdu vers l'aval que ce qu'il faut de liquide pour faire en sorte que sa puissance d'ascension ainsi réalisée produise chaque fois, comparativement à la dépense, le maximum d'effet utile. Il est d'ailleurs évident que, plus la vitesse d'écoulement convenable sera faible, plus il faudra de temps pour que la masse entière du liquide qui occupe le tuyau soit animée de cette vitesse. Or, comme celle-ci est toujours comprise entre zéro et celle due à la charge, et que cette charge diminue à son tour à chaque période, on en conclut qu'à mesure qu'on s'éloigne d'avantage de l'origine de l'opération, le temps pendant lequel le tube devra rester levé est plus considérable. C'est là un résultat qui est pleinement confirmé par l'expérience.

On pourrait croire d'après ces diverses explications théoriques que la manœuvre de l'appareil doit être une opération délicate, peu susceptible d'être confiée aux soins d'un homme qui, comme un éclusier, n'est nullement versé dans la connaissance du mouvement des liquides. Il est certain qu'il faut ici, comme en toute circonstance, procéder à un travail préparatoire, à quelques exercices d'apprentissage, mais tout cela s'apprend très vite, car une fois qu'on a fait appel à la science pour déterminer les conditions théoriques de la manœuvre, on ne tarde pas à constater, en faisant quelques expérimentations, qu'il existe des signes certains, très faciles a saisir par les plus simples ouvriers, et à plus forte raison par un éclusier, au moyen desquels les moments de l'élévation et de l'abaissement du tube sont parfaitement indiqués,

Et d'abord, pour ce qui concerne l'ascension, il est très aisé de suivre, après le déversement, le mouvement de descente de l'eau dans le tube et de juger de l'instant où ce

mouvement s'épuise ; c'est alors qu'il faut lever le tube ; à cet égard il ne saurait exister aucune difficulté.

Quand le tube est levé, l'eau descend du sas avec une vitesse croissante : dans les premiers moments de l'écoulement tout s'échappe vers l'aval et l'on ne remarque rien d'exceptionnel dans le fond du tube, mais lorsque l'accroissement de la vitesse est devenu tel qu'il se produit dans le fond du tube un refoulement de bas en haut, refoulement très visible, c'est alors qu'il faut baisser le tube. On entend d'ailleurs, très distinctement, le bruit de l'eau affluente, éloigné d'abord, puis se rapprochant rapidement en grandissant, et l'expérience prouve que le refoulement bien accusé du liquide dans le tube coïncide toujours avec le bruit maximum de l'eau, de sorte qu'en vertu de cette double circonstance, il n'y a pas de doute possible sur l'instant précis où l'on doit faire retomber le tube sur son siége.

La manœuvre de la vidange est donc une opération des plus simples.

Dans ce qui précède, et dans le but de simplifier notre exposition, nous avons supposé que le tube d'amont n'existait pas, revenons maintenant à la réalité et ayons égard à l'existence du tube.

Ce tube, comme celui d'aval, va présenter un passage à l'eau ascendante qui, par conséquent se déversera par son sommet. On pourrait aisément empêcher le déversement par l'un ou l'autre tube en portant à un niveau plus élevé l'orifice de celui pour lequel on veut supprimer l'écoulement. Mais alors la même quantité de liquide devant s'échapper par une section qui n'est que moitié de celle des deux tubes, ce liquide serait nécessairement soulevé à une plus grande hauteur à la sortie du tube, ce qui serait sans aucun intérêt en ce qui concerne sa restitution au bief d'amont et diminuerait l'effet utile au point de vue de l'épargne de l'eau.

D'un autre côté, s'il n'existait qu'un seul tube, il arriverait qu'au moment où on le lève, la perte de l'eau qui descend inutilement vers l'aval ne serait que moitié de ce qu'elle est quand il y en a deux, ce qui est un avantage. Mais, comme l'existence des deux tubes est forcée, et que dès lors, soit que le liquide déverse, soit qu'il ne déverse pas, il ne s'introduit pas moins dans l'un et dans l'autre, on voit que, sans rien diminuer à cette cause de perte, on resterait sous le coup de l'atténuation des bénéfices signalés ci-dessus. Le déversement par les deux tubes présente donc un avantage incontestable.

En ce qui concerne le tube d'amont, l'eau qui le surmonte retombe librement dans la chambre qui l'entoure et est ainsi directement restituée au bief supérieur avec lequel cette chambre communique.

Il n'en serait pas de même pour le tube d'aval, qui est isolé de cette chambre, et il faudrait pour celui-ci établir un canal spécial destiné à recevoir les eaux déversées, et à les conduire vers le bief supérieur. Pour obtenir ce dernier résultat, voici comment on a procédé à l'Aubois.

A l'aide d'une voûte surbaissée établie au-dessus de la partie du tuyau horizontal qui correspond au tube d'aval et d'un mur vertical s'élevant sur la tête extérieure de cette voûte, on a prolongé la chambre qui communique avec l'amont. Cette voûte est naturellement percée d'une ouverture circulaire destinée à laisser passer le tube d'aval, et d'ailleurs pour que les eaux d'amont, qui désormais vont entourer le tube, n'aient pas de communication avec lui, on a élevé autour de cette ouverture une maçonnerie cylindrique formant cheminée (voir sur la *fig.* 7 et la *fig.* 22 la coupe verticale P, P′ de ce cylindre), dans l'intérieur de laquelle se meut le tube, ce qui établit autour de lui un écran impénétrable à l'eau (*).

(*) On a représenté au sommet de la *fig.* 22 un appareil appelé

Le bord supérieur de cette cheminée s'élève au-dessus du niveau d'amont, et se termine très près de l'extrémité du tube. Ce bord est découpé en biseau pour faciliter le déversement de l'eau remontée. Quant à la partie vide réservée entre le tube et la paroi intérieure de la cheminée pour le jeu de l'appareil, elle est protégée contre l'introduction des eaux déversantes par un autre biseau métallique qui forme autour du tube une collerette suffisamment large pour recouvrir le vide en question.

A l'aide de ces dispositions, les eaux remontent dans l'un et l'autre tube, tombent directement dans la chambre qui communique avec l'amont, sans que les eaux de cette chambre puissent jamais s'écouler par le tube d'aval.

L'agrandissement de la chambre d'amont, outre l'utilité dont nous venons de parler, en possède une autre sur laquelle nous nous expliquerons dans la suite de ce mémoire, et l'on verra que cette nouvelle considération est devenue un motif de plus d'adopter le parti de faire déverser l'eau par les deux tubes.

Manœuvre de l'appareil pour le cas du remplissage de l'écluse. — Occupons-nous maintenant du remplissage. Cette opération exige l'emploi des deux tubes, et voici comment elle doit être pratiquée. On commence par lever le tube d'amont, celui d'aval restant baissé, l'eau descend alors vers le sas en coulant dans le tuyau horizontal, où elle ne tarde pas à prendre la vitesse convenable ; on baisse alors le tube d'amont et on lève presque en même temps celui d'aval. L'eau engagée dans le tuyau horizontal, qui depuis ce tube jusqu'à l'extrémité du tuyau court vers le sas en vertu de la vitesse acquise et n'est plus alimentée par l'amont, laisserait après elle un vide : ce vide est aussitôt

---

compresseur qui, lorsqu'on ne se sert pas du système, a pour but d'assurer au besoin le joint de chaque tube sur son siège.

rempli par l'eau d'aval, car celle-ci est poussée à l'extérieur par la pression atmosphérique, tandis qu'elle éprouve à l'intérieur une pression moindre, puisqu'elle rencontre de l'eau qui n'est pas en repos, qui au contraire marche vers le sas jusqu'à ce que l'excès de charge qui se manifeste dans celui-ci et qui affaiblit de plus en plus la vitesse d'écoulement l'ait complètement amortie.

En ce moment, tout l'effet réalisable par cette première partie de l'opération est obtenu, et l'on recommence une seconde fois la manœuvre. On continue ainsi jusqu'à ce que la quantité d'eau d'aval conduite dans le sas, qui va sans cesse en diminuant, soit trop faible pour qu'il y ait intérêt à utiliser le fonctionnement de l'appareil.

Examinons maintenant quelles sont les conditions les plus favorables pour les mouvements d'ascension et d'abaissement des tubes.

Il est très facile d'apprécier l'instant où l'eau d'aval cesse d'affluer vers le sas; il se produit alors au fond du tube d'aval un état de calme qui dénote parfaitement la cessation de tout afflux. Cet instant est évidemment celui où il faut baisser le tube d'aval. Si l'on ne le faisait pas, la charge du sas déterminerait un écoulement en sens inverse du précédent qui provoquerait une perte d'eau vers l'aval.

Les deux tubes se trouvent donc baissés en ce moment; la charge du sas va refouler l'eau dans leur intérieur, où on la verra s'élever jusqu'à un certain niveau. Après quoi elle descendrait, faisant retour vers le sas, et si on laissait les choses en cet état, il se produirait une succession d'oscillations isochrones du sas au tube, et réciproquement.

Il est évident que c'est lorsque le niveau est le plus élevé dans les tubes qu'il est le plus bas dans le sas, et que par conséquent la charge de l'eau d'amont sur celle du sas est la plus forte possible. C'est donc ce moment qu'il faudra saisir pour lever le tube et pour provoquer une nouvelle introduction des eaux d'amont dans le sas.

A ce premier motif s'ajoute le suivant, que plus sera petite la différence de niveau entre le bief d'amont et le liquide contenu dans le tube, moins la colonne d'eau correspondant à cette différence perdra de force vive. Comme précédemment, on laissera les eaux descendantes acquérir la vitesse convenable, et c'est alors qu'on baissera le tube d'amont pour lever presque en même temps celui d'aval.

Dans cette opération, il n'y a un peu d'incertitude que pour le temps pendant lequel il faut laisser levé le tube d'amont. Toutes les autres circonstances de la manœuvre sont parfaitement indiquées. Le tube d'aval doit se lever presque en même temps que celui d'amont s'abaisse; il doit descendre sur son siège au moment où l'on ne remarque plus d'agitation dans le fond; enfin le tube d'amont doit se relever lorsque l'oscillation en retour, venant du sas, a fait monter l'eau dans les tubes au niveau le plus élevé.

Quant à la durée de la levée du tube d'amont, on n'a aucun signe apparent pour l'apprécier; mais en remarquant que cette opération est tout à fait semblable, quant aux écoulements, à celle de la vidange, et que pour celle-ci les durées des levées sont très facilement assignables par l'expérience, il n'y aura qu'à les reproduire dans le même ordre, lorsqu'il s'agira du remplissage. Or, il ne paraît pas douteux qu'à la suite de quelques tâtonnements, on ne trouve des moyens simples et faciles de rendre très pratique cette partie de la manœuvre.

Au reste, en supposant que les divers signes d'après lesquels nous disons qu'il faut se diriger pour fixer les époques de la levée et de l'abaissement des tubes pendant l'opération, en supposant, disons-nous, que ces divers signes ne fussent pas précisément ceux qui correspondent à la plus grande somme possible d'effet utile, ils possèdent tant d'autres avantages, qu'il sera malgré cela très utile, disons mieux, indispensable, de les conserver.

D'abord par eux-mêmes, ils sont très facilement saisis-

sables, condition précieuse qu'il était très important d'obtenir.

Ils assurent en outre à l'opération une régularité parfaite dont la réalisation est si nécessaire lorsqu'il s'agit de satisfaire aux besoins d'un service public.

Enfin les résultats obtenus, en se conformant aux indications qui viennent d'être données, étant d'après l'expérience très avantageux, et tout concourant à démontrer que ces résultats ne pourraient guère l'être plus en opérant autrement, on voit que toutes ces circonstances se réunissent pour confirmer l'opinion que les manœuvres conduites conformément aux prescriptions que nous venons d'indiquer réalisent toute la somme de simplicité et d'utilité désirable.

On pourra juger de la vérité de ce que nous disons ici, par le résumé de huit expériences de vidange pratiquées suivant le mode ci-dessus décrit :

NUMÉROS des expériences.	NOMBRE des périodes.	ABAISSEMENT du niveau du sas.
		mètres.
1	11	1,70
2	12	1,60
3	10	1,75
4	10	1,75
5	12	1,75
6	10	1,75
7	10	1,70
8	12	1,74

On voit combien toutes ces expériences sont concordantes, soit au point de vue du nombre des périodes, soit à celui de l'abaissement définitif des eaux du sas.

D'ailleurs, une partie des légères différences qui peuvent exister de l'une à l'autre s'explique par cette circonstance, que la chute de l'amont à l'aval n'a pas été constamment la même, par suite des variations incessantes qu'éprouve le niveau du bief supérieur. Cette chute a varié entre $2^m,40$ et $2^m,30$; elle est même descendue quelquefois, mais très rarement, à $2^m,20$.

Création d'un bassin d'épargne. — Dans ce qui précède, il n'a pas été question d'un bassin d'épargne. Cependant, lorsque je me suis rendu, en 1868, à l'écluse de l'Aubois, ce bassin existait; mais il n'avait pas été établi en vue de concourir, du moins immédiatement, au fonctionnement de l'appareil. On avait bien alors l'idée qu'il pourrait être un jour utile, surtout pour écarter quelques objections qu'on pouvait adresser, au point de vue pratique, à la manœuvre des tubes, et pour rendre plus simple et plus correcte la marche des opérations. Mais les conceptions qu'on avait à cette époque sur ce point n'étaient pas définitivement arrêtées. Aussi ce bassin ne fut-il pas, à l'origine, dans ses dispositions, ce qu'il est aujourd'hui. Expliquons en quoi il consistait alors.

Nous avons dit que le siège du tube d'aval est plongé dans les eaux d'un fossé qui communique librement avec le bief inférieur, fossé par lequel les eaux du sas s'écoulent à l'aval pendant le fonctionnement de l'appareil (voir sur le plan des lieux, *fig.* 1, la direction *bfaed* de ce fossé).

Supposons que la communication de ce fossé avec l'aval puisse être momentanément interceptée à la fin de l'opération; si les berges de ce fossé s'élèvent à une certaine hauteur au-dessus du niveau normal des eaux d'aval, ce fossé pourra alors servir jusqu'à cette hauteur de bassin de retenue ou d'épargne.

Cela posé, au moment où, le jeu de l'appareil cessant, le niveau du sas est descendu de $1^m,74$, il ne reste plus dans celui-ci qu'une tranche de $0^m,66$ de hauteur; fermons alors la communication du fossé avec le bief d'aval et soulevons le tube d'aval, l'eau du sas, qui est à $0^m,66$, entrera dans le fossé dont le niveau est à zéro, et comme cette introduction se fera avec une certaine vitesse, le travail moteur ainsi engendré aura pour résultat de porter l'eau ainsi écoulée à un niveau sensiblement plus élevé dans le bassin d'épargne que dans le sas.

Sans insister plus longuement sur ces considérations très facilement appréciables par le lecteur, disons qu'aujourd'hui la communication entre le bassin et le bief d'aval n'est plus momentanément, mais reste toujours complètement fermée, du moins au point de vue du jeu de l'appareil ; car il va sans dire que pour tout autre motif, celui, par exemple, de construction et de réparation, on peut facilement la rétablir à volonté.

Il résulte de là que le tube d'aval ne prend et ne donne jamais d'eau au bief même d'aval, mais au bassin d'épargne ; c'est ce que nous expliquerons d'ailleurs en détail lorsque nous parlerons du fonctionnement actuel de la machine. Nous ferons en outre connaître, dans le chapitre troisième, en quoi consistent aujourd'hui les dispositions du bassin d'épargne.

CHAPITRE DEUXIÈME.

MODIFICATIONS INTRODUITES DANS L'APPAREIL DE 1868 A 1879.

Exhaussement des bords supérieurs des tubes.— Lorsque j'ai visité l'écluse de l'Aubois, en 1868, les choses étaient dans une situation telle, que, les deux tubes reposant sur leurs sièges, leurs orifices circulaires supérieurs étaient dans le même plan de niveau. Ce plan s'élevait de $0^m,15$ au-dessus du niveau moyen du bief d'amont.

Mais, comme ce bief est très court et que par suite les variations sont aussi fréquentes qu'exceptionnelles, il arrivait assez souvent que le sommet du tube d'aval était atteint par les corps flottants qui venaient engorger l'espace annulaire compris entre le tube et sa cheminée, ce qui gênait la manœuvre.

Pour remédier à cet inconvénient, on prit le parti d'exhausser les deux tubes, ainsi que la cheminée du tube

d'aval, de $0^m,30$. Par ce moyen l'engorgement fut diminué au point de vue de sa fréquence, mais il ne fut pas complètement supprimé, parce que, je le répète, à l'écluse de l'Aubois, les variations du bief d'amont se présentent dans des conditions tout à fait insolites.

Le seul parti à prendre pour faire radicalement disparaître cette cause de perturbation dans la manœuvre, consistait à empêcher les corps flottants d'atteindre le niveau supérieur du tube d'aval, et c'est ce qu'on a réalisé en tenant le bord supérieur du tube d'amont $0^m,15$ plus bas que celui du tube d'aval.

Mais il résulte de là que, comparativement à ce qui avait lieu en 1868, les eaux remontées au bief d'amont par le jeu de l'appareil sont obligées, avant leur restitution à ce bief, de s'élever aujourd'hui, savoir : de $0^m,15$ de plus par le tube d'amont, et de $0^m,30$ par le tube d'aval, ce qui ne peut que contribuer à rendre moindre le rendement utile actuel.

Cette explication était nécessaire pour justifier, en partie du moins, la diminution de rendement d'effet utile constatée par les nouvelles expériences.

Allongement des balanciers. — En 1868, un homme seul ne pouvait faire la manœuvre du tube d'amont, parce que le balancier n'avait pas une longueur suffisante. Aujourd'hui cette longueur a été augmentée dans la proportion convenable. On a en outre disposé à l'extrémité du balancier un arbre vertical avec une poulie fixe, afin de pouvoir facilement relever cette extrémité du balancier et faire ainsi retomber, sans effort gênant et en s'aidant même du poids du corps, le tube sur son siége ; des dispositions analogues et ayant le même but ont été appliquées au balancier du tube d'aval.

Il résulte de ces nouvelles dispositions cette conséquence éminemment utile pour la pratique, qu'un seul homme

suffit aujourd'hui pour manœuvrer facilement l'appareil, soit pour le remplissage, soit pour la vidange, alors même qu'on ne se servirait pas du bassin d'épargne et qu'on considérerait celui-ci comme une simple rigole de décharge, ainsi qu'on l'avait fait à l'origine.

Substitution future de la convergence des balanciers à leur parallélisme actuel. — Ajoutons que dans les installations nouvelles on pourra apporter une évidente simplification à ces dispositions. En effet, à l'écluse de l'Aubois, les balanciers sont parallèles entre eux et séparés par la distance qui existe entre les deux tubes, soit 3^{m},60 environ. Il faut donc que l'ouvrier effectue ce déplacement, lorsqu'il veut aller d'un balancier à l'autre, or, au lieu de parallélisme, rien n'est plus facile que de donner aux balanciers des directions convergentes, au moyen desquelles leurs extrémités viendraient aboutir à une petite distance l'une de l'autre sur la plateforme du bajoyer, de manière que, sans déplacement de l'opérateur, chacune d'elles se trouverait à sa disposition. Un seul arbre, intermédiaire entre ces extrémités, serait alors suffisant, et il porterait deux poulies fixes situées l'une sur une de ses faces pour le tube d'amont, l'autre sur la face opposée pour le tube d'aval.

Poids étagés. — On a reconnu par expérience qu'au lieu d'avoir un contrepoids unique fixé à l'extrémité de chaque balancier, il valait mieux attacher à la corde qui sert à ce balancier des contrepoids étagés, formant une sorte de chapelet dans lequel les moins pesants sont au-dessus des autres. Cette disposition pourrait avoir pour résultat de faciliter l'obtention d'une marche automatique, si tant est que celle-ci puisse devenir irréprochablement pratique. En effet, la force qui ramène alternativement chaque tube sur son siége augmente à mesure que le tube descend. Il est

donc plus facile à cette force de commencer par n'avoir à soulever qu'un petit poids, les autres l'étant successivement à mesure que l'entraînement descendant augmente. Mais je n'insiste pas davantage sur cet ordre de considérations qui intéresse plus encore l'avenir que le présent, dont je dois ici plus spécialement m'occuper.

Établissement des freins hydrauliques. — La disposition des poids étagés avait aussi pour but de contribuer à amortir la percussion du tube descendant sur son siège, au moyen d'un gros contre-poids qui était soulevé le dernier à une petite hauteur.

Mais aujourd'hui cet inconvénient, qui avait une gravité réelle, n'existe plus par suite d'une disposition aussi simple qu'ingénieuse, introduite à l'Aubois par M. de Caligny, et que nous allons décrire (voir *fig.* 23).

Le problème à résoudre consistait à faire en sorte d'amortir la percussion qui s'effectuait à la fin de la descente, sans que cependant le moyen employé pour cela diminuât en rien l'adhérence du tube lorsque celui-ci est en état de repos sur son siège.

A cet effet, on a disposé sur le massif du bajoyer et sous l'extrémité de chaque balancier un cylindre vertical en tôle suffisamment résistante, de $0^m,50$ de hauteur et de $0^m,20$ de diamètre intérieur. Une pièce conique en bois, lestée et guidée au moyen d'une tige verticale en fer, manœuvre dans le cylindre comme le ferait un piston. Ce piston est lié au balancier par une corde attachée d'une part à celui-ci, d'autre part à une boucle qui termine la tige en fer. Or, les choses sont disposées de telle manière, que c'est un peu avant l'instant où le tube va arriver sur son siège que la corde est tendue et que, par conséquent, la tige du piston va être soulevée. Cela posé, voici comment va se développer dans le frein la force de résistance qui doit amortir la percussion du tube sur son siège au

moment du contact. Le cylindre est toujours rempli d'eau jusqu'à son couvercle, foré d'un trou pour le passage de la tige à laquelle est attachée la pièce de bois intérieure. Dès qu'on lève le tube et que la corde cesse d'être tendue, cette pièce, en vertu de son lest, va occuper la partie inférieure du cylindre. Mais, lorsqu'à la fin de la descente du tube la corde se retend, la tige se soulève et entraîne le piston conique. L'eau qui est au-dessus de celui-ci doit alors aller occuper le vide qui s'est fait en dessous par suite de l'ascension du piston. Mais cette eau n'ayant pour passage que l'espace annulaire très étroit qui a été ménagé entre la pièce de bois et le cylindre, on voit que l'on sera toujours maître d'obtenir le degré de résistance qu'on voudra en augmentant ou diminuant la largeur de la couronne circulaire par laquelle s'effectue le passage de l'eau qui va du dessus du piston au-dessous.

Il est d'ailleurs à remarquer que l'essence propre de cette résistance est de ne se développer que par le fait même du mouvement de la descente du tube vers son siège, elle devient donc nulle quand le mouvement cesse, et dès lors elle ne diminue en rien l'adhérence du tube lorsque celui-ci est à l'état de repos sur son siège.

La seule condition essentielle à remplir, pour ce qui concerne l'appareil du frein proprement dit, c'est que le poids de la pièce de bois et celui de son lest soient déterminés de manière que cette pièce ait le temps de retomber d'elle-même au fond du cylindre pendant que le tube ne repose plus sur son siège.

En résumé, aujourd'hui, le coup de fouet des longs balanciers de l'appareil est entièrement supprimé ; les percussions des tubes sur leurs sièges sont insignifiantes, on pourrait même, si l'on voulait, mais cela ne me paraît nullement nécessaire, les diminuer encore, parce que la pièce de bois intérieure du frein se trouve avoir aujourd'hui plus de temps qu'il ne lui en faut pour retomber

d'elle-même dans la position d'où elle doit être relevée, de sorte qu'on pourrait donner une petite augmentation à son diamètre.

Ce qui distingue très spécialement le frein hydraulique, que nous venons de décrire de ceux connus jusqu'à ce jour, c'est la suppression très précieuse, au point de vue des commodités de la pratique, de toute espèce de clapets, soupapes et organismes intérieurs plus ou moins compliqués.

Suppression des inconvénients résultant de l'introduction de l'air dans le tuyau de conduite et dans le sas pendant la manœuvre de l'appareil. — A l'époque de ma visite à l'Aubois, en 1868, les ingénieurs reprochaient à l'appareil un inconvénient très justifié au point de vue de ses conséquences, mais auquel il avait été impossible de remédier et qui aujourd'hui a complètement disparu. Je vais m'expliquer à ce sujet.

Lorsqu'on procédait au remplissage du sas, si après avoir levé le tube d'amont pour envoyer de l'eau à l'écluse et puis, si après l'avoir abaissé, ou négligeait, par suite de quelque distraction, de lever le tube d'aval en temps utile, l'air pouvait s'engouffrer dans le grand tuyau de conduite et venir à jour dans le sas, ce qui avait le double inconvénient de produire une perte de travail et d'être une cause de trouble pour les bateaux enfermés dans le sas.

A cette époque, à l'extrémité inférieure des tubes, on avait disposé un appendice circulaire placé à l'extérieur de chacun. Or, pour remédier à l'inconvénient signalé, il a suffi à M. de Caligny de faire passer de l'extérieur à l'intérieur l'appendice du tube d'aval, et voici quel a été le résultat de cette interversion. Si pendant le remplissage, après avoir introduit de l'eau dans l'écluse, et le tube d'amont étant abaissé, on tenait invariablement baissé le tube

d'aval sur son siège, voici ce qui se passerait. Les deux tubes ont chacun de l'eau dans leur intérieur et celle-ci baisse, entraînée par le mouvement de celle qui est en marche dans le grand tuyau de conduite. Quant au tube d'amont, son rebord inférieur, pressé par les eaux d'amont qui entourent le tube, maintient celui-ci sur son siège. La *fig.* 21 représente la disposition actuelle de ces anneaux inférieurs au bord de chaque orifice. A gauche, on voit que l'anneau est extérieur à l'orifice pour le tube d'amont. A droite, on voit qu'il est intérieur pour le tube d'aval. Dans le tube d'aval, l'eau qu'il renferme presse sur l'appendice du fond actuellement placé à l'intérieur, mais cette pression va sans cesse en diminuant à mesure que l'eau baisse. Or il arrive un instant où cette pression n'est plus suffisante pour contre-balancer un poids convenablement placé à cet effet à l'extrémité du balancier, de sorte qu'on est certain que ce poids soulèvera toujours en temps utile le tube d'aval, et l'engouffrement de l'air sera ainsi rendu impossible.

On voit, d'ailleurs, qu'avec un peu d'attention, l'inconvénient dont je viens de parler aurait toujours pu être évité, et, en fait, dans mes expériences de 1868, il ne s'est pas produit. Mais, dans la pratique journalière, on ne doit jamais compter sur une application soutenue des agents, et il est on ne peut plus utile de chercher, dans les choses mêmes, les garanties pour lesquelles il serait fort imprudent de compter sur les personnes.

CHAPITRE TROISIÈME.

ÉTAT DES LIEUX ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL EN MAI 1879.

---

§ 1. — **État des lieux.**

Transformations opérées dans l'ancien fossé d'aval. — L'ancien fossé, formant appendice au bief d'aval, communiquant avec ce bief, alimenté par ses eaux, et dans lequel était plongée l'ouverture du tube d'aval, n'a plus aujourd'hui cette destination d'origine.

Déjà, avant octobre 1868, ce fossé avait été fermé à son extrémité par un vannage (voir *fig.* 9) à l'aide duquel la communication entre lui et le bief d'aval était, ou, pour mieux dire, pouvait être interrompue. Car le barrage était mobile, et, à l'époque de ma présence sur les lieux, en 1868, il est resté constamment ouvert pendant toute la durée des expériences qui ont eu pour objet l'étude de la manœuvre et du rendement par les tubes seuls.

Ce n'est que pour les quelques observations, assez peu nombreuses, que j'ai faites en vue de me rendre compte du jeu des grandes oscillations, venant du sas ou s'y rendant, que le fossé a été momentanément transformé en bassin d'épargne par la fermeture de son barrage terminal.

Bassin d'épargne et bassin de fuite. — Aujourd'hui, cette destination du fossé à servir d'épargne est restée constante, mais seulement pour la partie comprise entre le massif de l'écluse en *b* et le barrage à poutrelles en *f*, sur une longueur de $20^m,29$. Le reste du fossé, que j'appelle bassin de fuite, depuis le point *f* jusqu'au point *a*, a une longueur de $31^m,38$. J'expliquerai plus loin comment le bassin d'épargne est utilisé pour la vidange et le remplissage de l'écluse.

Dans le moment, je me borne à définir ce bassin au point de vue de la description de ses dispositions et du métré de ses sections horizontales prises à diverses altitudes, depuis son radier jusqu'au couronnement des murs qui en forment l'enceinte.

Ces renseignements préliminaires nous seront indispensables pour acquérir la conception précise du fonctionnement actuel de l'appareil et de son rendement.

En ce qui concerne les formes, leur état descriptif est clairement indiqué par le plan et les profils ci-joints (voir *fig.* 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20).

On voit qu'entre l'écluse et son extrémité vers le bief d'aval, l'ancien fossé a été converti en bassin, par la construction de murs en partie droits, en partie inclinés, établis sur ses deux parois. Le couronnement de ces murs, tant pour celui de droite que pour celui de gauche, est dans un même plan horizontal, et ce couronnement se trouve à $1^m,00$ en contre-bas de celui qui constitue la plate-forme du bajoyer.

Dans les profils ci-joints, les cotes de hauteur sont rapportées au couronnement des murs formant les parois du bassin ; s'il était nécessaire de les rapporter au couronnement du bajoyer, il faudrait augmenter de $1^m,00$ chacune de ces cotes.

A son origine, du côté de l'écluse, l'ancien fossé, aujourd'hui bassin, est adossé contre le massif du bajoyer.

Pour la communication entre le bassin et le tube d'aval qui est établi dans ledit massif, il a été construit dans celui-ci une chambre qui fait ainsi partie intégrante du bassin d'épargne (voir cette chambre dans la partie inférieure de la *fig.* 7).

Le bassin général se termine contre les maçonneries d'un pont appartenant à la route en remblai qui franchit la voie navigable au-dessous de l'écluse (voir le point *a* du plan général, *fig.* 1). C'est par la voûte de ce petit pont,

compris entre les murs du bassin, que celui-ci peut communiquer avec le bief d'aval, et c'est sur ce pont, contre l'ouverture de la voûte, qu'a été établi le barrage mobile (voir pour les détails les *fig.* 9, 10, 11, 13).

La longueur totale du bassin, depuis le bajoyer jusqu'au pont dont nous venons de parler, mesurée sur l'axe, est de $51^m,67$. Mais toute cette étendue ne sert pas aujourd'hui d'épargne. On a réservé cette destination à la seule longueur de $20^m,29$ mesurée sur l'axe à partir du massif de l'écluse.

A l'extrémité de cette longueur, on a établi un barrage fixe de séparation qui divise l'ensemble de ce réservoir en deux parties; celle comprise entre l'écluse et le barrage forme proprement le bassin d'épargne. L'autre partie, s'étendant depuis le barrage de séparation jusqu'au vannage mobile terminal, a une longueur sur l'axe de $31^m,38$; nous lui donnerons dans ce mémoire le nom de bassin de fuite.

Détermination des sections horizontales mouillées, à divers niveaux dans le bassin d'épargne. — Les six profils en travers du bassin d'épargne montrent que les sections varient d'un point à l'autre et que ces variations sont trop accentuées, soit dans le sens des hauteurs, soit dans celui des largeurs, pour que l'on puisse recourir à des moyennes dans le but de procéder au mesurage des sections et des volumes.

Au point de vue des expériences que j'avais à faire, il était nécessaire de connaître à tout instant les quantités d'eau reçues ou évacuées par le bassin d'épargne, lorsque le liquide passait d'un niveau à un autre. Dans ce but, j'ai procédé à la détermination des surfaces horizontales mouillées du bassin pour toutes les hauteurs que peut prendre le liquide, et je donne ci-dessous le tableau faisant connaître ces diverses surfaces. Avec ces éléments, il sera toujours facile de déterminer les volumes d'eau sortis du bassin ou reçus par lui dans une circonstance donnée. Si,

par exemple, h et h' sont les hauteurs initiale et finale de l'eau dans le bassin pour une expérience donnée, et si l'on désigne par a et a' les surfaces mouillées horizontales correspondant respectivement à ces hauteurs, le volume cherché sera $\frac{a + a'}{2}(h - h')$. Or, h et h' seront immédiatement données par l'expérience, on cherchera ensuite dans le tableau les valeurs a et a' qui leur correspondent, et l'on possédera ainsi tous les éléments déterminatifs du volume qu'on désire connaître.

Au sujet de ce tableau, deux observations préliminaires doivent être présentées.

La première consiste à remarquer que le volume d'eau qui constitue l'épargne à un moment donné se compose non seulement de celui qui est contenu dans le bassin proprement dit, mais encore de celui que renferme la chambre du tube d'aval, laquelle, comme nous l'avons indiqué, communique librement avec le bassin (voir *fig.* 12).

La surface horizontale mouillée de cette chambre varie avec les hauteurs de l'eau; il résulte des dispositions adoptées pour son établissement qu'elle est la plus grande possible depuis le repère et même au-dessous, jusqu'à la cote $0^{m},80$ au-dessus du repère. Sa valeur constante est alors $14^{m},30$, déduction faite de l'espace circulaire occupé par le tube. Elle diminue ensuite par le fait de l'occlusion successive provoquée par les voûtes, soit d'entrée, soit de l'intérieur; enfin pour la cote $1^{m},90$ au-dessus du repère à laquelle se termine la chambre dans le sens de la hauteur, la surface horizontale mouillée se réduit à zéro. Le tableau ci-dessous donne le détail de toutes ces variations.

La seconde observation que j'ai à présenter est relative au massif d'enrochements adossé au barrage de séparation des deux bassins et qui a pour objet d'amortir le choc et la fluctuation du liquide lorsqu'il afflue dans le bassin d'épargne.

Ce massif, qui a une certaine importance (voir *fig.* 20), diminue évidemment le volume d'eau contenu dans l'épargne. Si les éléments rocheux qui le composent étaient tous d'égale dimension, le plein y serait sensiblement égal au vide; mais comme ces dimensions sont diverses, la proportion ci-dessus doit être augmentée, et par ce motif nous l'avons portée à 60 p. 100. C'est d'après ces bases que nous avons calculé la surface qu'il faut déduire pour chaque hauteur par suite de la présence des enrochements.

Tenant compte de ces diverses observations, on comprendra facilement les dispositions sur lesquelles est composé notre tableau.

La colonne n° 1 indique les hauteurs au-dessus du repère pour lesquelles on veut déterminer les surfaces mouillées.

Les colonnes n° 2 et n° 3 font connaître respectivement les surfaces du bassin proprement dit et de la chambre du tube d'aval.

La colonne n° 4 contient la somme de ces deux surfaces partielles.

La colonne n° 5 indique ce qu'il faut retrancher de cette somme pour tenir compte du plein des enrochements.

Enfin la colonne n° 6 donne les chiffres définitifs des surfaces mouillées correspondant aux divers niveaux du bassin d'épargne.

Les hauteurs inscrites dans la colonne n° 1 sont comptées à partir du niveau du radier du bassin, au profil *c*, ce dernier point est le zéro de l'échelle des hauteurs.

Ce point a été choisi de préférence à tout autre pour la commodité des observations, parce que, par suite de la disposition des maçonneries, complétée par une cloison en planches, on a pu former en cet endroit un petit réduit où les fluctuations de surface sont très sensiblement amorties.

Pour les comparaisons qu'on pourrait avoir à faire entre les cotes de nos expériences et celles rapportées au plan

du couronnement du bajoyer, nous dirons que le repère *c* est situé à 3m,87 au-dessous de ce plan, de sorte qu'en soustrayant nos cotes de 3m,87, on connaîtra les abaissements des niveaux du bassin d'épargne au-dessous du couronnement du bajoyer.

COTES des niveaux au-dessus du repère *c*.	SURFACES MOUILLÉES correspondantes		SOMME des deux colonnes précédentes.	SURFACE occupée dans le bassin par le plein des enrochements (à déduire).	VALEURS définitives des surfaces mouillées horizontales de l'épargne.
	dans le bassin d'épargne.	dans la chambre du tube d'aval.			
1	2	3	4	5	6
0,40	106,69	22,72	129,41	15,51	113.90
0.50	108,13	22.72	130,85	15,00	115.85
0,60	109.58	22,72	132,30	14,49	117,81
0,70	111.03	22,72	133,75	13,98	119,77
0,80	112,47	21,97	134,44	13,47	120,97
0,90	113.91	19,24	133,15	12,96	120,19
1,00	115.26	17.96	133.22	12,25	120,97
1,10	116,61	17,96	134,57	11,54	123,03
1,20	117,96	17,96	135,92	10,83	125,09
1,30	119,31	13,47	132,78	10,12	122,66
1,40	120,65	8,98	129.63	9,40	120,23
1,50	121,55	4,49	126,04	8,61	117,43
1.60	122,46	»	122,46	7,82	114.64
1,70	123,36	»	123,36	7,03	116,33
1,80	124,27	»	124,27	6,24	118,03
1,90	125,18	»	125,18	5,44	119,74
2,00	126,08	»	126.08	4.35	121,73
2,10	126,98	»	126,98	3,26	123,72
2,20	127,88	»	127,88	2,17	125,71
2.30	128,78	»	128.78	1.08	127,70
2,40 (*)	129,69	»	129,69	0,00	129,69 (*)

(*) A partir de ce point, la surface mouillée conserve la valeur constante 129mq,69. Cela tient à ce que, d'une part, il n'y a rien à ajouter pour la chambre du tube d'aval, rien à retrancher pour les empierrements; à ce que, d'autre part, les parois du bassin étant désormais verticales, les largeurs dans chaque profil restent les mêmes.

§ 2. — Fonctionnement de l'appareil en mai 1879.

Observations préliminaires. — Ainsi que je l'ai dit déjà, le fonctionnement de l'appareil à l'origine ne se faisait qu'avec les relèvements et abaissements successifs des deux tubes; la manœuvre exigeait un nombre de périodes compris entre neuf et douze.

En suivant les prescriptions indiquées au chapitre Ier du

présent mémoire, on obtenait un résultat évidemment avantageux; mais si, théoriquement, la solution du problème était très satisfaisante, on avait quelques reproches à lui adresser au point de vue pratique. Depuis l'année 1869, l'attention des ingénieurs et celle de M. de Caligny n'ont pas cessé de se porter sur les inconvénients signalés, et les détails consignés dans le deuxième chapitre font connaître à la fois et la nature de ces inconvénients et celle des moyens employés pour les combattre.

Il serait présomptueux d'affirmer que l'on est arrivé aujourd'hui à la perfection et qu'il n'y aura pas encore quelques modifications à introduire, mais tout porte à croire que celles-ci ne seront que d'ordre secondaire et que l'état actuel de l'appareil et de sa mise en train peut être considéré comme satisfaisant aux conditions essentielles d'une bonne pratique.

Manœuvres pour le cas de la vidange. — Lorsqu'on veut procéder à la vidange de l'écluse, on commence par faire manœuvrer les deux tubes comme on le faisait en 1869, mais on limite à quatre périodes seulement cette partie de l'opération. On opère d'ailleurs en se conformant autant que possible, pour l'élévation et l'abaissement des tubes, aux conditions indiquées dans le chapitre Ier.

Après ces quatre périodes, on lève le tube d'aval et l'on envoie au bassin d'épargne, par une grande oscillation, autant d'eau qu'il est possible d'en extraire du sas. A ce sujet, on remarquera que l'eau qui se rend dans le bassin avec une certaine vitesse y prendra, en vertu de cette vitesse et au moment même où celle-ci s'épuise, une plus grande hauteur que dans le sas; c'est ce moment-là qu'il faut choisir pour abaisser le tube. On retient ainsi dans l'épargne la plus grande quantité possible de liquide. Il est évident, en effet, que, si on laissait le tube levé plus longtemps, il se ferait entre les deux vases communiquants une oscillation

en retour vers le sas, et l'approvisionnement fait dans l'épargne diminuerait d'autant.

Enfin, lorsqu'on a usé de la ressource de l'oscillation, on achève de vider l'écluse par les moyens ordinaires, c'est-à-dire en levant les ventelles d'aval.

Manœuvres pour le cas du remplissage. — L'opération du remplissage du sas succède toujours à une vidange, c'est-à-dire à une manœuvre qui a eu pour résultat de remplir le bassin d'épargne.

Aussi le début du remplissage consiste-t-il à envoyer dans le sas, par une oscillation initiale, la plus grande quantité d'eau qu'il est possible de retirer du bassin d'épargne.

Pour cette oscillation, comme pour la précédente, on saisira, pour abaisser le tube d'aval, le moment où l'eau, qui a afflué dans le sas, tendrait à rentrer par voie de retour dans l'épargne, ainsi que nous l'expliquerons plus en détail quand nous rendrons compte de nos expériences.

Après cette première phase de l'opération, on a recours à la manœuvre ordinaire des tubes qu'on fait fonctionner pendant quatre périodes. Pendant que le tube d'amont est levé, le sas reçoit l'eau de l'amont; puis, quand on le baisse pour lever celui d'aval, c'est l'eau de l'épargne qui va alimenter l'écluse.

CHAPITRE QUATRIÈME.

COMPTE RENDU ET DISCUSSION DES EXPÉRIENCES.

---

§ 1. — Expériences de vidange.

Principes et bases des expériences. — Dans les opérations de vidange, aucune partie de l'eau qui est retirée du sas par le fonctionnement de l'appareil n'est perdue. Cette eau

est, ou recueillie dans le bassin d'épargne, ou remontée au bief d'amont.

Rien n'est donc plus facile que de connaître l'économie obtenue, c'est-à-dire la quantité de liquide qui ne va pas se perdre dans le bief d'aval. Il suffit pour cela de multiplier la surface du sas par la hauteur de la tranche écoulée depuis le début du fonctionnement jusqu'à sa fin ; la tranche restant dans le sas, lorsque toutes les manœuvres sont terminées, constitue la perte, et elle s'écoule vers l'aval par le procédé ordinaire de l'ouverture de ventelles.

Il est aussi très facile de connaître individuellement l'eau recueillie dans le bassin d'épargne et l'eau remontée.

Si, en effet, on désigne par S' la surface horizontale moyenne du bassin d'épargne entre les niveaux initial et terminal, et par h la différence de hauteur de leurs cotes, le produit $S'h$ sera le volume d'eau épargnée.

D'un autre côté, S étant la section horizontale uniforme du sas et H la hauteur de la tranche sortie de l'écluse pendant les manœuvres, le produit SH sera le volume total d'eau utilisée, de sorte que la différence $SH - S'h$ représentera le nombre de mètres cubes remontés.

Disons enfin que le rapport de SH au volume total de l'écluse, ou plus simplement celui de la hauteur H à celle de la chute, qui a pour valeur à l'Aubois $2^{m},40$, représente la fraction de cette éclusée économisée par l'appareil.

Explications sur les dispositions adoptées dans le tableau représentatif des expériences. — Telles sont les bases principales suivant lesquelles nous avons opéré. Quant aux résultats, nous les consignons dans un tableau qui passera sous les yeux du lecteur, après que nous aurons donné des indications suffisantes sur sa composition.

Ce tableau contient onze colonnes dont nous allons faire connaître les destinations.

La première indique les numéros d'inscription que portent les expériences sur notre carnet de notes.

La seconde indique en heures, minutes et secondes le moment du commencement et de la fin de chaque expérience.

La troisième représente la durée totale des manœuvres dans chaque opération.

La quatrième fait connaître la cote des niveaux dans le sas au commencement et à la fin des manœuvres; ces cotes sont prises en contre-bas de la surface supérieure du bajoyer de l'écluse.

La cinquième donne la différence de ces deux niveaux.

La sixième contient l'indication du nombre de mètres cubes qui correspondent dans le sas à cette différence.

Dans la septième nous avons inscrit les deux hauteurs d'eau dans le bassin d'épargne, au commencement et à la fin de chaque expérience. Ces hauteurs sont comptées à partir du radier du bassin d'épargne, au point marqué *c* sur les feuilles de plan et de profils jointes au présent mémoire.

La huitième contient l'expression de la différence entre ces deux cotes, c'est-à-dire la hauteur de la tranche d'eau gagnée par le bassin d'épargne pendant l'expérience.

La neuvième donne le nombre de mètres cubes recueilli chaque fois dans le bassin d'épargne.

La dixième fait connaître le nombre de mètres cubes qui dans chaque expérience a été relevé au bief d'amont.

La onzième enfin contient des fractions qui expriment, lorsqu'on représente l'éclusée totale par l'unité, quelle est la quantité de cette unité dont le fonctionnement de l'appareil a empêché l'écoulement et la perte vers le bief d'aval.

Au point de vue des quantités de liquide qu'exige le service de la navigation tel qu'il est constitué dans la pratique ordinaire, ces dernières fractions sont la mesure de l'économie procurée par l'appareil dans la consommation d'eau.

Ces choses ainsi entendues, voici le tableau présentant le résumé de nos expériences pour le cas de la vidange.

NUMÉROS du carnet.	TEMPS.	DURÉE des expériences.	COTES des niveaux dans l'écluse.	DIFFÉRENCES.	VOLUME total utilisé.	HAUTEURS d'eau dans l'épargne.	DIFFÉRENCES.	VOLUMES d'eau		FRACTIONS de l'éclusée économisées.
								épargnés.	remontés.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			mèt.	mèt.	m. c.	mèt.	mèt.	m. c.	m. c.	
1	9h55′ 00″ 10 1 30	6′ 30″	0,61 1,95	1,34	241,20	0,84 2,08	1,24	148,80	92,40	0,56
3	10 40 27 10 45 0	4 33	0,55 1,85	1,30	234,00	0,87 2,10	1,23	147,60	86,40	0,54
5	2 2 30 2 6 40	4 10	0,58 1,95	1,37	246,60	0,84 2,10	1,26	151,20	95,40	0,57
7	2 27 40 2 32 10	4 30	0,59 1,88	1,29	232,20	0,81 2,13	1,32	158,40	73,80	0,54
9	3 29 29 3 34 0	4 31	0,58 1,90	1,32	237,60	0,81 2,13	1,32	158,40	79,20	0,55
11	8 55 30 9 0 25	4 55	0,56 1,94	1,38	248,40	0,73 2,11	1,38	165,60	82,80	0,575
13	9 17 0 9 21 50	4 50	0,54 1,86	1,32	237,60	0,79 2,17	1,38	165,60	72,00	0,55
15	9 45 13 9 51 16	6 3	0,59 1,87	1,28	230,40	0,82 2,16	1,34	160,80	69,60	0,53
16	2 13 20 2 17 45	4 25	0,48 1,87	1,39	250,20	0,78 2,17	1,39	166,80	83,40	0,58
18	2 33 40 2 38 5	4 25	0,53 1,84	1,31	235,80	0,83 2,16	1,33	159,60	76,20	0,545
20	2 46 55 2 51 14	4 19	0,55 1,87	1,32	237,60	0,79 2,15	1,36	163,20	74,40	0,55
22	3 29 0 3 32 45	3 45	0,63 1,86	1,23	221,40	0,89 2,19	1,30	156,00	65,40	0,51
24	3 46 45 3 50 55	4 10	0,51 1,85	1,34	241,20	0,83 2,16	1,33	159,60	81,60	0,56
26	4 52 0 4 55 55	3 55	0,57 1,88	1,31	235,80	0,80 2,14	1,34	160,80	75,00	0,545
28	5 33 0 5 37 10	4 10	0,55 1,92	1,37	246,60	0,80 2,12	1,32	158,40	88,20	0,57
30	5 47 5 5 52 6	5 1	0 55 1,88	1,33	239,40	1,00 2,25	1,25	150,00	89,40	0,555
32	10 9 11 10 13 5	3 54	0,60 1,89	1,29	232,20	0,76 2,12	1,36	163,20	69,00	0,54

NUMÉROS du carnet.	TEMPS.	DURÉE des expériences.	COTES des niveaux dans l'écluse.	DIFFÉRENCES.	VOLUME total utilisé.	HAUTEURS d'eau dans l'épargne.	DIFFÉRENCES.	VOLUMES d'eau épargnés.	VOLUMES d'eau remontés.	FRACTIONS de l'éclusée économisées.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			mèt.	mèt.	m. c.	mèt.	mèt.	m. c.	m. c.	
34	10h30′30″ 10 34 30	4′ 0″	0.59 1,90	1.31	235,80	0.79 2,15	1,36	163.20	72,60	0,545
36	10 49 11 10 52 40	3 29	0,45 1,80	1,35	243,00	0,80 2,19	1,39	166,80	76,20	0,56
38	2 25 50 2 30 30	4 40	0,51 1,86	1,35	243.00	0,81 2,15	1,34	160,80	82,20	0,56
40	2 44 10 2 48 32	4 22	0,60 1,87	1,27	228.60	0,80 2,15	1,35	162,00	66,60	0,53
42	3 3 50 3 7 40	3 50	0,53 1,83	1,30	234,00	0,78 2,18	1,40	168,00	66,00	0,54
45	4 14 40 4 18 0	3 20	0.61 1,87	1,26	226,80	0,78 2,16	1,38	165,60	61,20	0,525
Moyenne générale des 23 expériences.		4 25	0,56 1,88	1,32	237.60	0.82 2,15	1,33	159,60	78,00	0,55

§ 2. — Expériences de remplissage.

Le tableau destiné à rendre compte des expériences de remplissage présente les plus grandes analogies avec celui dans lequel sont consignés les éléments et les résultats des expériences de vidange,

Ce tableau contient dix colonnes auxquelles se rapportent les indications dont le détail suit.

La première indique les numéros sous lesquels chaque expérience est inscrite sur notre carnet de notes.

La seconde fait connaître les époques du commencement et de la fin de chaque expérience, et la troisième, leur durée.

Dans la quatrième, nous avons inscrit les niveaux du sas au commencement et à la fin du fonctionnement et dans la cinquième sont indiquées les hauteurs d'eau que ce fonctionnement a introduites dans l'écluse.

Dans la sixième sont inscrits en mètres cubes les volumes des tranches ainsi gagnées par le sas.

La septième montre, quant au niveau, ce qu'ont été les états initial et final du bassin d'épargne, et dans la huitième figurent les hauteurs des tranches perdues par ce bassin.

Enfin, dans les neuvième et dixième on trouve les nombres de mètres cubes qui ont été fournis en partie par l'épargne en partie par l'amont pour former les volumes de la colonne 6 représentatifs de ce que le sas a gagné. Cette répartition est très-facile, car nous connaissons la hauteur et la section horizontale moyenne de la tranche perdue par le sas et nous pouvons par conséquent en déterminer directement le volume, prenant ensuite la différence de ce volume et de celui correspondant de la colonne 6, nous obtenons le nombre de mètres cubes fourni par l'amont.

Ces choses ainsi entendues, voici notre tableau.

NUMÉROS du carnet.	TEMPS.	DURÉE des expériences.	NIVEAUX initial et final dans l'écluse.	DIFFÉRENCES.	VOLUME gagné par le sas.	NIVEAUX initial et final dans l'épargne.	DIFFÉRENCES.	VOLUMES FOURNIS par l'épargne.	VOLUMES FOURNIS par l'amont.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			mèt.	mèt.	m. c.	mèt.	mèt.	m. c.	m. c.
2	10h 6′ 5″ 10 10 40	4′ 35″	3,10 2,00	1,10	198,00	2,00 0,76	1,24	148,80	49,20
4	10 51 0 10 54 30	3 30	3.08 2,03	1,05	189,00	2,04 0,78	1,26	151,20	38,20
6	2 13 0 2 16 50	3 50	3,10 1,99	1,11	199,80	2,00 0,78	1,22	146,40	53,40
8	2 37 11 2 41 20	4 9	3,08 1,85	1,23	221,40	2,06 0,79	1,27	152,40	69,00
10	3 38 30 3 42 0	3 30	3,07 1,80	1,27	228,60	2,06 0,85	1,21	145,20	83,40
12	9 4 30 9 8 20	3 50	3,11 1,84	1,27	228,60	2.03 0,69	1,34	160,80	67,80
14	9 25 44 9 29 30	3 50	3,12 1,92	1,20	216,00	2,09 0,70	1,39	166,80	49,20
15 *bis*	9 54 40 9 59 5	4 25	3,09 1,92	1,27	228,60	2,07 0,75	1,32	158,40	70,20
17	2 23 10 2 27 44	4 34	3,11 2,08	1,03	185,40	1,98 0,78	1,20	144,00	41,40
19	2 37 0 2 41 15	4 15	3,13 1,98	1,15	207,00	2,07 0,72	1,35	162,00	45,00
21	3 0 45 3 4 14	3 29	3,12 2,00	1,12	201,60	2,05 0,73	1,32	158,40	43,20
23	3 37 30 3 41 20	3 50	3,13 2,04	1,09	196,20	2,09 0,76	1,33	159,60	36,60
25	3 55 35 3 59 15	3 40	3,14 2,04	1,10	198,00	2,10 0,73	1,37	164,40	33,60
27	5 0 10 5 4 0	3 50	3,17 2,06	1,11	199,80	2,00 0,70	1,30	156,00	43,80
33	10 17 0 10 21 0	4 0	3.13 1,99	1,14	205,20	2,01 0,70	1,31	157,20	48,00
37	10 39 27 10 43 40	4 13	3,12 1,90	1,22	219,60	2,13 0,73	1,40	168,00	51,60
39	2 34 20 2 38 24	4 4	3,13 1,86	1,27	228,60	2,08 0,74	1,34	160,80	67,80

NUMÉROS du carnet. 1	TEMPS. 2	DURÉE des expériences. 3	NIVEAUX initial et final dans l'écluse. 4	DIFFÉRENCES. 5	VOLUME gagné par le sas. 6	NIVEAUX initial et final dans l'épargne. 7	DIFFÉRENCES. 8	VOLUMES FOURNIS par l'épargne. 9	VOLUMES FOURNIS par l'amont. 10
			mèt.	mèt.	m. c.	mèt.	mèt.	m. c.	m. c.
41	2h53' 40" 3 0 30	6' 50"	3,13 1,83	1,30	234,00	2,03 0,69	1,34	160,80	73,20
43	3 12 0 3 15 15	3 15	3,12 1,87	1,25	225,00	2,10 0,80	1,30	156,00	69,00
46	4 22 10 4 25 45	3 55	3,10 1,89	1,21	217,80	2,08 0,78	1,30	156 00	61,80
Moyenne générale des 20 expériences.		4 7	3,114 1,940	1,174	211,32	2,053 0,748	1,305	156,60	55,72

Résumé des résultats des expériences en ce qui concerne la durée des manœuvres et leur rendement. — Les études dont nous venons de présenter l'exposé font connaître les circonstances diverses de la manœuvre de l'appareil tel qu'il a fonctionné au moment de notre dernière visite à l'Aubois, ledit fonctionnement se composant en partie du jeu des tubes, en partie des oscillations destinées soit à remplir, soit à vider le bassin d'épargne.

Présentons maintenant un résumé récapitulatif des conclusions les plus essentielles qu'on peut déduire de nos expériences.

En ce qui concerne la durée de la manœuvre proprement dite de l'appareil, nous avons vu que cette durée est, savoir :

Pour la vidange, de 4' 25"; pour le remplissage, de 4' 7". Mais, après que l'appareil aura fonctionné, il faudra, dans le premier cas, achever de vider l'écluse; dans le second, achever de la remplir par les moyens ordinaires. De sorte que l'on peut évaluer de 6 à 7' environ le temps d'un remplissage ou d'une vidange.

L'opération pourra être ainsi plus longue, d'une minute

à une minute et demie que lorsqu'on se sert uniquement des ventelles. Ce sera là un faible inconvénient pour les canaux dans lesquels la circulation est médiocrement active, mais qui, dans les cas de pénurie d'eau, sera largement compensé par l'économie que procure l'appareil.

Dans les canaux à circulation très active, il n'en serait pas ainsi. Il faut alors, sous peine de ne pas satisfaire convenablement aux besoins du service, que les manœuvres soient rapides, et l'économie du temps doit passer avant celle de l'eau ; nous nous bornons en ce moment à poser la question, nous examinerons tout à l'heure comment on eut la résoudre.

Après ces considérations relatives à la durée d'une opération de vidange ou de remplissage, nous n'avons qu'à relater celle de l'effet utile obtenu. On a pu voir par les tableaux qui précèdent que dans nos 23 expériences de vidange, la mesure de l'économie réalisée a suivi une marche très régulière; elle n'a varié que du minimum 0,51 au maximum de 0,58. On est donc autorisé, ce me semble, à considérer la moyenne 0,55 donnée par ces expériences comme aussi rapprochée que possible de la vérité.

Quant au remplissage, le tableau qui le concerne (voir dans la moyenne générale, colonne 5) n'accuse en apparence qu'une hauteur de $1^m,174$, gagnée dans le sas à la fin des opérations, tandis que, pendant la vidange, la hauteur représentative de l'économie obtenue est mesurée par une hauteur de $1^m,32$ dans le sas.

Il semblerait résulter de là que tout ce qui a été gagné pendant cette dernière opération n'est pas restitué dans celle de remplissage.

Mais cette anomalie n'est qu'apparente, ainsi que nous allons en donner la preuve.

Et d'abord, dans le rapport au Ministre, nous avons discuté en détail l'effet de l'influence qu'exercent les filtrations pendant la durée qui sépare une expérience de vidange

d'une expérience de remplissage, et nous avons reconnu que cette influence est mesurée par une perte dans le bassin d'épargne correspondant à une hauteur d'eau de $0^m,023$ dans le sas, ce qui représente un volume de 3,77 mètres cubes. Or, les expériences sont très sensiblement concordantes avec ce résultat, puisqu'elles constatent que, par la vidange, le bassin d'épargne a reçu $159^{mc},60$, et que, pendant le remplissage, il a fourni au sas $156^{mc},60$, d'où résulte une différence de 3 mètres cubes, chiffre sensiblement égal au précédent.

Ajoutant donc à la hauteur $1^m,174$, trouvée dans le sas à la fin du remplissage, celle de 0,023, due à la perte par filtration, nous trouvons $1^m,197$, mais nous sommes encore loin de celle $1^m,32$ fournie par la vidange.

Pour avoir raison de cette dernière difficulté, il faut remarquer que la tranche de $1^m,32$ économisée pendant la vidange, sans qu'il y ait eu rien de perdu vers l'aval, est recueillie en partie par l'épargne, en partie par le bief d'amont. Nous venons de voir ce qui se passe à l'épargne; examinons maintenant ce qui concerne l'amont.

Or, pendant la vidange, et conformément au tableau qui concerne ces opérations, l'amont reçoit en moyenne un volume de 78 mètres cubes; il faudrait donc, si l'opération de remplissage exigeait la même quantité de liquide venue de l'amont, que nous la retrouvassions dans le sas, qui alors, ayant reçu tout ce que l'appareil en avait précédemment fait sortir, devrait accuser une tranche de même hauteur $1^m,32$. Mais il n'en est pas ainsi, l'expérience prouve en effet que l'opération de remplissage exige une descente de liquide plus petite que n'avait été la montée (*), d'où il suit que le sas doit avoir en moins la hauteur correspondant à cette différence restée à l'amont et que, si l'on ajoute

(*) Quand l'écluse se remplit le niveau baisse notablement dans le bief d'amont qui est très court.

cette hauteur à la précédente, nous devons retrouver $1^m,32$. Voyons s'il en est réellement ainsi.

La vidange (voir le tableau) envoie en moyenne 78 mètres cubes à l'amont; le remplissage, de son côté (voir le tableau), n'exige en moyenne qu'une descente de $55^{mc},72$, il est donc resté à l'amont $78,00 - 55,72 = 22,28$. Or, ces 22,28, divisés par la section du sas, correspondent à une hauteur de $0^m,12$, qui, ajoutée aux $1^m,197$ ci-dessus, donne $1^m,317$. Il était difficile, dans cette nature d'observations, d'espérer un plus satisfaisant accord, et cet accord, réagissant à son tour sur les expériences faites, prouve que celles-ci ont été conduites de manière à donner des moyennes sur la vérité desquelles on peut compter.

Nous pouvons donc affirmer que, tant pour la vidange que pour le remplissage, l'économie réalisée est mesurée par la fraction 0,55 de l'éclusée.

Telles sont, en résumé, les conclusions essentielles de nos opérations sur le fonctionnement de l'appareil dans son état actuel. Elles nous fixent parfaitement, et sur la mesure des durées qu'il exige, et sur celle de l'eau qu'il économise.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Nous croyons avoir passé en revue, dans les explications qui précèdent, tout ce qui peut se dire aujourd'hui de l'appareil de M. de Caligny, en tant du moins que les faits qui s'y rapportent ont reçu de la pratique une suffisante sanction d'autorité; car, au point de vue théorique, ce sujet délicat est loin d'être épuisé et la nouveauté des vues sur lesquelles s'appuie l'auteur, vues dont la science s'est encore peu occupée, permet d'espérer pour l'avenir une plus abondante moisson d'utilisations pratiques. Nous laisserons à cet effet

la parole à M. de Caligny qui se propose de faire suivre notre travail de l'exposé de quelques études personnelles susceptibles d'intéresser les savants et les hommes d'administration et d'apporter à son œuvre déjà avancée de nouveaux perfectionnements.

Nous renfermant pour notre part dans la mission plus spéciale qu'a bien voulu nous confier le Ministre des Travaux Publics et qui consiste surtout à constater ce qu'au point de vue pratique on peut trouver de très utilement réalisable dans le nouvel appareil, nous ajouterons qu'en outre, cet appareil, et ce n'est pas un de ses moindres avantages, n'est pas condamné à une invariabilité de fonctionnement qui, favorable dans certains cas, pourrait être un obstacle dans d'autres; il a au contraire l'heureux privilège de se modifier dans son jeu et de s'adapter ainsi aux diverses exigences de service, soit que ces exigences tiennent à l'accélération de la marche des bateaux, soit quelles se rapportent surtout à diminuer le plus possible la consommation d'eau, et ce sont là, on le sait, les principales et les plus impérieuses nécessités de la navigation.

Après ce court préambule procédons à la récapitulation des faits que nous avons constatés, soit pendaut les expériences de 1868, soit pendant celles de 1879.

Au début l'appareil consistait en deux tubes reposant sur la partie supérieure de la voûte d'un canal ouverte circulairement pour les recevoir. Ce canal fermé à l'amont débouche librement dans le sas par l'une des enclaves des portes d'aval. Dans toute son étendue et sur toute sa hauteur, ce canal est placé à un niveau inférieur à celui du bief d'aval. L'un des tubes, dont le rebord surpasse de 15 centimètres le niveau d'amont, est placé dans une chambre communiquant avec le bief d'amont, remplie par les eaux de ce bief, lesquelles restent stagnantes tant que le tube repose sur son siège établi, comme nous l'avons dit, sur la tête de voûte du canal inférieur dont il vient d'être parlé.

Mais, lorsqu'on lève le tube, les eaux d'amont, prenant passage par l'orifice ainsi ouvert, s'introduisent dans le canal souterrain et se rendent dans le sas. Quand au second tube, il plonge par sa partie inférieure dans les eaux du bief d'aval, interrompt, tant qu'il repose sur son siège, toute communication entre ce bief et le canal souterrain, mais permet au contraire cette communication lorsqu'il est levé, donnant ainsi issue tantôt aux eaux du sas pour aller vers l'aval, tantôt aux eaux d'aval pour entrer dans le sas. Telles sont les dispositions constitutives de l'appareil. Quant aux divers détails du fonctionnement des tubes et de la marche des eaux, ils sont peu susceptibles d'analyse, et ont été suffisamment décrits dans le cours du Mémoire ; c'est là que le lecteur devra en prendre connaissance.

Dans les premiers temps, il n'avait pas été créé de bassin d'épargne, les tubes fonctionnaient seuls. Ce fonctionnement se faisait en un nombre de périodes variable de 9 à 10, exigeant une durée de 6 à 7 minutes et procurant une économie de 40 à 42 p. 100 environ dans la consommation d'eau pour chaque opération, soit de vidange, soit de remplissage.

Plus tard, M. de Caligny eut l'idée de la création d'un bassin d'épargne, il se servit à cet effet du fossé qui faisait communiquer l'eau du bief d'aval avec la partie inférieure du tube d'aval et réalisa cette idée en établissant un vannage qui permettait d'opérer à volonté la fermeture à l'extrémité du fossé.

Ce bassin au début avait une contenance supérieure à celui de l'éclusée. Depuis cette contenance a été réduite, elle n'est plus guère aujourd'hui que les deux tiers de la capacité du sas, et c'est dans ces conditions qu'ont été poursuivies les expériences dont il est rendu compte dans le présent Mémoire.

Si maintenant nous nous reportons à ce qui concerne le

fonctionnement des tubes seuls, nous pouvons dire que, d'après les expériences de 1868, faites, soit par le service de la navigation, soit par moi-même, il a été constaté : 1° que l'économie d'eau réalisée est celle qui a été signalée ci-dessus; 2° que le rendement obtenu par chaque période va très vite en diminuant à mesure que cette période est plus éloignée de l'origine de l'opération; 3° qu'enfin, sur chaque économie de 40 p. 100, les quatre premières périodes à elles seules en réalisent une de 29 p. 100.

Disons avant d'abandonner les questions qui se rapportent à l'utilité des tubes et du canal avec lequel, à l'aide de leur jeu, des communications sont établies entre l'amont, l'aval et le sas, que cette utilité ne se borne pas à économiser l'eau et qu'en dehors de cette mission, que M. de Caligny leur a attribuée, il en est une autre qui dans certains cas peut offrir au service de la navigation de très grands avantages. Je veux parler des facilités que ce système peut offrir pour accélérer directement la vidange et le remplissage du sas et permettre ainsi la suppression des ventelles des portes, système défectueux, incommode, difficile à réparer et qui occasionne quelquefois de grandes pertes d'eau. Je ne crois pas en effet qu'il y ait un mode plus simple d'occlusion ou d'ouverture pour l'eau à de grandes profondeurs et qui fasse naître moins de souci et d'embarras pour les réparations soit prévues, soit effectives, que les tubes de M. de Caligny. Je ne crois pas non plus qu'il y ait d'appareil plus commode et plus expéditif dans son ensemble pour remplir et vider un sas.

Tout cependant n'a pas été parfait dès le début dans l'installation faite à l'Aubois. Ce n'est jamais sans quelques tâtonnements qu'un certain ensemble de vues théoriques peut finir par s'adapter aux exigences de la pratique. Dans le chapitre deuxième, nous avons passé en revue les principales modifications qu'il a fallu faire subir à l'instal-

lation primitive de l'appareil pour éviter les inconvénients que son usage a successivement mis à jour.

A la suite des recherches, études et essais faits à l'Aubois depuis une douzaine d'années, il nous paraît que l'on peut établir comme suit la nomenclature des services que l'appareil de M. de Caligny est appelé à rendre à la navigation :

1° Indépendamment de toute considération relative à l'épargne de l'eau, cet appareil peut être employé comme moyen de remplir et de vider un sas directement et rapidement. Son système d'occlusion et d'ouverture pour le passage des eaux est certainement le plus simple, le moins exposé aux dérangements, le plus facile à réparer en cas de nécessité. A tous égards il est préférable aux ventelles actuellement employées, et en donnant au tuyau de conduite des sections convenables, ce qui peut toujours se faire, il est permis d'espérer qu'on complètera en deux minutes une opération soit de remplissage, soit de vidange pour des écluses de $2^{m},50$ de chute.

2° Si à la condition de rapidité se joint à un certain degré la nécessité d'économiser l'eau, on fera fonctionner les tubes pendant quatre périodes. Le temps de la manœuvre pourra ainsi être augmenté d'une minute et demie, et sera en tout de trois minutes et demie ; mais on économisera une quantité d'eau égale à 29 p. 100 de l'éclusée, qui sera rejetée à l'amont ; l'on pourra économiser une fraction sensiblement égale prise à l'aval quand on remplira l'écluse.

3° A mesure que la nécessité d'aller vite diminuera et que les considérations relatives à l'économie de l'eau prendront plus d'importance, on pourra augmenter le nombre des périodes, le porter jusqu'à 9 ou 10, et la quantité d'eau renvoyée à l'amont ou prise à l'aval sera représentée par 40 p. 100 de l'éclusée, mais dans ce cas la durée de l'opération sera d'environ sept minutes.

C'est à ces divers partis qu'il faudra recourir, lorsque par

des considérations relatives, soit aux localités, soit aux dépenses, on s'imposera l'obligation de ne pas construire de bassin d'épargne.

4° Mais dans les cas où cette construction sera admise en principe, on gagnera soit en économie d'eau, soit en économie de temps à combiner le jeu des grandes oscillations initiales et finales avec le fonctionnement des tubes pendant quatre ou trois périodes. Les expériences que j'ai faites en mai dernier à l'Aubois, et dont les détails sont consignés dans le présent Mémoire, prouvent qu'une opération de remplissage ou de vidange peut alors être accomplie dans une durée maximum de six minutes et que l'économie d'eau réalisée dans chacune est représentée par 55 p. 100 de l'éclusée.

Mais les ingénieurs qui construiront des bassins d'épargne ne doivent pas se bercer de l'espoir que ces bassins pourront conserver l'étanchéité nécessaire avec des parois en terre, surtout lorsqu'ils ne seront pas en entier établis dans un profond déblai. Pour ces bassins il faut des parois maçonnées et très soigneusement fondées et construites. Viser à l'économie dans l'établissement de ces ouvrages serait la plus funeste des inspirations. Ce serait détruire dès le début tous les avantages de l'entreprise en vue de laquelle on s'est mis à l'œuvre.

Paris, 9 février 1880.

NOTE ADDITIONNELLE.

M. de Caligny, à qui j'ai communiqué les conclusions de mon rapport du 9 février 1880, m'a adressé le 10 du même mois la lettre suivante :

« Monsieur, vous avez bien voulu me communiquer les « conclusions de votre dernier rapport sur mon système « d'écluses de navigation. Je me suis aperçu que, dans « l'hypothèse où l'on supprimerait le bassin d'épargne, « pour ne compter que sur le jeu des périodes de la ma- « chine, vous n'aviez tenu compte que d'une seule des « opérations, soit de remplissage, soit de vidange ; en un « mot, que vous supposiez que, si la machine marchait « pendant la vidange, elle ne marcherait pas pendant le « remplissage, ou que, si elle marchait pendant le rem- « plissage, elle ne marcherait pas pendant la vidange.

« Il peut être intéressant de considérer la machine à ce « point de vue ; mais les personnes qui n'auraient pas sous « les yeux vos rapports précédents pourraient croire le « rendement moitié moindre qu'il ne l'est en réalité quand « on fait les deux opérations. Pour éviter tout malentendu, « je crois qu'il est utile de rappeler que vous avez dit, dans « votre rapport de 1868, que, lorsqu'on remplit une écluse « au moyen des périodes de la machine, on retire du bief « d'aval environ 40 p. 100 de l'éclusée, de sorte qu'on « prend 60 p. 100 du bief d'amont ; mais de ces 60 p. 100, « quand on vide l'écluse, on relève environ 40 au bief d'a- « mont, de sorte qu'en définitive il ne descend que 20 p. 100 « de l'éclusée au bief d'aval. »

J'ai tenu à reproduire le texte même de la lettre de M. de Caligny afin qu'il n'y eût aucune incertitude sur la nature de son observation.

Voici maintenant ce que j'ai à dire en réponse à cette lettre.

Et d'abord je n'ai jamais supposé, je n'ai nulle part donné à entendre, comme semble l'insinuer le premier paragraphe de la lettre, que si la machine marchait pendant la vidange elle ne marcherait pas pendant le remplissage, et réciproquement. J'ai toujours pensé, affirmé et tenu pour constant qu'en toute occasion chaque remplissage, comme chaque vidange, donnait 40 p. 100 d'économie. Nous verrons tout à l'heure quelles sont les conséquences de ce double fait, au sujet duquel aucune hésitation n'est possible.

En second lieu, j'accorde d'autant plus volontiers à M. de Caligny qu'il y aura des passages de bateaux pour lesquels l'économie réalisée sera de 80 p. 100 de l'éclusée, que c'est formellement ce que j'ai déclaré dans mon mémoire de 1868. Voici, en effet, en quels termes je me suis expliqué à ce sujet :

« Comparant, ai-je dit, la tranche de $1^m,002$ de hauteur « venant de l'aval dans le sas, à la hauteur de l'éclusée, « qui est $2^m,40$, on obtient pour l'économie, pendant le « remplissage, le rapport 0,417. Le rapport de l'eau re- « montée pendant la vidange étant, d'après le mémoire, « 0,385, on a définitivement le nombre 0,802 comme me- « sure de l'économie réalisée pour chaque passage de « bateau. »

Cette déclaration très catégorique est tout à fait conforme aux assertions de M. de Caligny ; et, tant que le passage d'un bateau exigera le double et consécutif emploi d'un remplissage et d'une vidange, il continuera d'en être ainsi. Mais tous les passages de bateau ne s'exécutent pas dans ces conditions, et dès lors les conclusions ne sauraient être les mêmes pour l'universalité de ces passages.

Entrons dans quelques détails à ce sujet.

Lorsqu'un bateau qui remonte trouve le sas vide, ou lorsqu'un bateau qui descend le trouve plein, l'un et l'autre

entrent immédiatement dans le sas, et une seule opération est alors nécessaire pour faire passer le bateau d'un bief à l'autre, savoir : un remplissage dans le premier cas, une vidange dans le second. De sorte que, si l'ordre dans lequel se présentent les bateaux était constamment tel qu'un bateau descendant succédât toujours à un bateau remontant, le passage à la remonte se ferait avec l'économie constatée pour un remplissage, et le passage à la descente avec celle constatée pour une vidange. L'importance des économies pourrait ne pas être la même dans les deux cas. Mais il résulte en fait de mes expériences de 1868, faites avec le jeu des tubes seuls et sans aucune intervention du bassin d'épargne, qu'il y a presque égalité dans les deux circonstances.

En effet, pendant le remplissage, on emprunte à l'aval 0,417 de l'éclusée; pendant la vidange, on refoule à l'amont 0,386 de la même éclusée. D'où l'on voit qu'on peut prendre en moyenne la fraction 0,40 pour la mesure de l'économie réalisée par l'une et l'autre de ces opérations. On est d'ailleurs d'autant plus autorisé à opérer et à supputer ainsi, que ces deux opérations sont toujours dépendantes et consécutives l'une de l'autre.

Il résulte donc bien évidemment de ces explications que, si l'ordre de succession des bateaux restait toujours tel que nous le supposons ici, chaque passage produirait une économie de 40 p. 100 de l'éclusée. Je cherche vainement où et comment on pourrait trouver davantage, et je ne pense pas que personne puisse indiquer le pourquoi d'une augmentation d'économie devenue alors possible.

Mais il est des circonstances dans lesquelles le passage d'un bateau exige à la fois et une vidange et un remplissage : c'est ce qui arrive, par exemple, soit lorsqu'un bateau remontant trouve le sas plein, soit lorsqu'un bateau descendant trouve le sas vide. Dans ce cas, il faut deux opérations et chacune donne son contingent d'économie.

C'est ce que j'ai signalé dans mon mémoire de 1868, tout comme dans celui de 1879, j'ai du appeler l'attention sur ce qui a lieu lorsqu'une seule opération est nécessaire.

On doit d'ailleurs conclure de là que puisqu'il y a des bateaux dont le passage ne procure qu'une économie de 40 p. 100, tandis qu'il y en a d'autres qui en procurent une de 80, ce serait un tort de rapporter la mesure du taux économique à un passage de bateau. Pour rester dans la correcte vérité, il faut dire que pour chaque opération, soit de remplissage, soit de vidange, le jeu de l'appareil donne 40 p. 100 d'économie. Toutefois, si cette manière de s'exprimer est plus conforme aux injonctions de la théorie, nous ferons voir que l'autre s'impose tellement par les exigences de la pratique, qu'il est à peu près impossible de s'y soustraire; mais nous ne manquerons pas d'indiquer sous quelles réserves l'application en doit être faite.

Au surplus, en matière d'hydrodynamique, il ne faut pas se fier aux considérations d'ordre trop général. Souvent, si l'on n'y prend bien garde, elles vous entraînent dans d'involontaires erreurs, et la prudence nous fait un devoir d'être très précis.

A cet effet, considérons le bief supérieur d'une écluse dont le sas est actuellement vide, le dit bief compris entre les portes d'amont de cette écluse et les portes d'aval de l'écluse immédiatement supérieure. Appelons C la capacité de ce bief H, la hauteur de son niveau avant toute opération.

Cela posé, supposons qu'on remplit l'écluse et qu'il n'existe aucun mécanisme propre à aspirer les eaux d'aval. Il faudra évidemment, pour effectuer ce remplissage, prendre à la capacité C le volume d'une éclusée, volume que nous désignerons par e. Aucune partie de l'eau d'amont ne se sera encore échappée vers l'aval; il n'y aura donc rien de perdu, mais il y aura quelque chose de changé : ce sera évidemment le niveau du bief d'amont

qui sera actuellement $H - h$ en désignant par h la hauteur du volume e de l'éclusée supposé uniformément réparti sur toute l'étendue du bief tel que nous l'avons défini. Maintenant, voulant vider l'écluse, on ferme les portes d'amont, on reconstitue ainsi le bief avec ses limites primitives; on jette l'eau de l'éclusée vers le bief d'aval et, s'il n'y a aucun mécanisme élévateur, on la perd tout entière. A la suite de cette double opération, tout est ramené dans l'état primitif, si ce n'est que le niveau de C s'est abaissé de la quantité h, exactement représentative de l'éclusée perdue.

Mais lorsqu'on remplit le sas et que l'écluse est munie d'un appareil susceptible de faire avec les eaux d'aval 40 p. 100 de ce remplissage, on ne devra prendre à l'amont que 0,60 de l'éclusée, de sorte qu'après la fermeture des portes d'amont le niveau du bief supérieur n'aura baissé que de $0,60\, h$, et se trouvera à la cote $H - 0,60\, h$.

Puis si, lorsqu'on vide le sas, l'appareil fait remonter 40 p. 100 de l'éclusée, le niveau d'amont prendra la cote $H - 0,60\, h + 0,40\, h$, c'est-à-dire $H - 0,20\, h$, de sorte que les deux opérations consécutives n'auront appauvri le bief supérieur que de 0,20 de l'éclusée.

Ces diverses observations paraissent propres, ce nous semble, à faire disparaître toute incertitude.

Il ne nous reste plus qu'à présenter les développements que nous avons promis sur le mode à employer pour l'évaluation des économies d'eau obtenues.

Si, comme nous l'avons indiqué, il n'est pas possible, théoriquement parlant, de rapporter la mesure de ces économies à cette sorte d'unité que nous avons appelée : *un passage de bateau*, et cela parce que cette unité varie, suivant les cas, du simple au double, et avec des alternances d'ailleurs inconnues, si par ce motif, disons-nous, cette manière de procéder est inacceptable au point de vue théorique, il n'en est pas de même dans la pratique; et l'ingé-

nieur, quoi qu'il fasse, est obligé de compter avec elle, malgré ses inconvénients, auxquels il est d'ailleurs facile d'apporter les correctifs nécessaires.

Que connaît en effet l'ingénieur chargé d'assurer l'alimentation d'un bief de partage? Il connaît le chiffre prévu T d'un tonnage annuel devant traverser ce bief. Comment s'effectuera la traversée de ce tonnage? A l'aide de bateaux d'une capacité déterminée, mais chargés tantôt plus, tantôt moins, et supposés porter chacun une fraction moyenne f de cette capacité qu'on appréciera pour chaque canal. Il sait donc, d'après ces données, et il ne peut pas savoir autre chose, que pour que le tonnage actuel s'écoule, il faudra un nombre de passages de bateaux égal à $\frac{T}{f}$.

Telle est la seule, l'unique base d'appréciation pour prévoir et calculer le volume annuel d'eau dont devra être pourvu le bief de partage. La considération du nombre des passages de bateaux est ainsi rendue forcée, inévitable, et il est impossible de ne pas la subir.

Et parce que, d'une part, il y a tels de ces passages pour lesquels on économisera 40 p. 100 d'eau, tels autres pour lesquels on en économisera 80; parce que, d'autre part, la proportion des uns aux autres dépend d'éventualités non définies et à peu près indéfinissables, nous sommes obligés d'admettre comme ce qu'il y a de moins arbitraire et de plus probable qu'il y en aura autant des uns que des autres, d'où nous concluons qu'en pratique l'ingénieur qui aura au préalable déterminé le nombre de passages nécessaire pour l'évacuation complète du trafic annuel à travers le bief de partage est autorisé, d'après nos expériences de 1868 et de 1879 à compter que, à l'aide de l'appareil de M. de Caligny, il obtiendra pour chaque bateau une économie de 60 p. 100 de l'éclusée.

Tel est sur ce sujet le résumé de mes conclusions au point de vue qui intéresse l'administration. Toute autre

manière de s'exprimer pourrait être théoriquement plus correcte, mais à coup sûr moins précise et moins utilisable pour les besoins de la pratique, qui doivent ici primer tous les autres.

La présente note additionnelle à mon rapport du 9 février, rédigée par

L'Inspecteur général honoraire,
François VALLÈS.

4 mars 1880.

N° 54

NOTICE

SUR

LES TRAVAUX D'AGRANDISSEMENT

DU

RÉSERVOIR DE PANTHIER

(Canal de Bourgogne)

Par M. BAZIN, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

De grands travaux sont entrepris pour le perfectionnement des voies navigables, et sur plusieurs d'entre elles, les moyens d'alimentation devront être largement augmentés; il peut donc être utile de faire connaître une amélioration très importante apportée, il y a peu d'années, au système d'alimentation du canal de Bourgogne, par l'agrandissement du réservoir de Panthier : ce travail, que nous avons eu à exécuter de 1867 à 1873, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Chenot, se présentait dans des conditions toutes particulières qui offrent un certain intérêt. Les grands réservoirs sont habituellement établis au moyen d'un barrage qui ferme le thalweg d'une vallée et arrête toutes les eaux fournies par le versant supérieur. A Panthier, la vallée dont on devait recueillir les eaux ne se prêtait point à la construction d'un semblable barrage ; c'est dans un vallon secondaire, au débouché d'un affluent peu important, que se trouvait un emplacement favorable; les eaux du versant général y sont amenées par une rigole à grand débit allant recueillir le produit d'une série d'affluents torrentiels.

Indépendamment de ce mode tout artificiel de remplissage, le réservoir de Panthier présente cette autre particularité, qu'on a limité l'étendue des terrains submergés en construisant à l'amont une longue digue de ceinture.

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

Le réservoir avait été établi, lors de la création du canal, au débouché du vallon secondaire de Panthier (Voir Pl. 27, *fig.* 1 et Pl. 28, *fig.* 1); les deux contreforts qui limitent le versant de ce petit affluent, avant de s'effacer dans le fond de la vallée principale, se prolongent assez loin et se rapprochent au point de ne laisser entre eux qu'une largeur de 200 à 300 mètres. En amont de cet étranglement se trouvait une prairie peu inclinée. Il a suffi d'une digue de 7 à 8 mètres de hauteur pour en faire le bassin d'un réservoir contenant 1.700.000 mètres cubes.

Par suite de cette remarquable disposition des lieux, la digue de retenue se trouve parallèle au cours d'eau principal (ruisseau de Commarin), qui devait fournir une grande partie des eaux nécessaires au remplissage.

Le versant direct du réservoir n'étant en effet que de $6^{k},5$, on pouvait craindre qu'il ne fût insuffisant, et l'on créa pour y suppléer la rigole de remplissage de Solle ; cette rigole, aujourd'hui supprimée, conduisait au réservoir les eaux du ruisseau de Commarin; une circonstance particulière ne permit pas à cette époque de l'établir dans des conditions régulières. La pente faisait complètement défaut, et, bien que le plafond de la rigole eût été tenu horizontal sur toute sa longueur, il débouchait à $0^{m},43$ au-dessous du niveau de la retenue du réservoir. Cette disposition fâcheuse résultait de la présence d'un vaste parc dépendant du château de Commarin ; afin de ne pas pénétrer dans cette propriété, que le ruisseau traverse sur 700 mètres de longueur, on s'était imposé la condition de

prendre les eaux à la sortie du parc, et, en ce point, le fond du ruisseau est déjà plus bas que le niveau de l'ancienne retenue ; aussi fallait-il fermer les vannes de prise d'eau, dès que le réservoir était arrivé à la hauteur du fond de la rigole ; le remplissage se complétait ensuite par le seul versant naturel.

Tel était l'ensemble fort simple des travaux exécutés en 1832 ; le réservoir ne contenait que 1.700.000 mètres cubes d'eau, tandis que la vallée de Commarin pouvait fournir un volume quatre ou cinq fois plus considérable ; on n'avait qu'imparfaitement tiré parti des avantages naturels de la situation. Aussi, dès que l'expérience eut démontré l'insuffisance des ressources d'alimentation du canal, songea-t-on à l'agrandissement du réservoir de Panthier. Un premier projet conservant les ouvrages anciens, légèrement modifiés, et admettant un exhaussement du plan d'eau de $1^m,40$, avait même été approuvé en 1852. Ce projet n'augmentait la capacité que de 1.051.000 mètres cubes ; c'était tout ce que l'on pouvait faire en maintenant l'économie du premier travail.

Pour réaliser une amélioration complète, il fallait résolument abandonner l'ancienne rigole et exhausser la retenue de plusieurs mètres, de manière à recevoir dans le réservoir le produit total du versant. Un exhaussement de 6 mètres était indiqué comme le plus convenable par la configuration des lieux ; il suffisait pour porter la capacité du réservoir à près de 8 millions de mètres cubes, ce qui devait permettre de recueillir à peu près tout le produit normal du versant.

L'ancienne rigole de Solle devenait par suite inutile, et il fallait en créer une autre à 7 ou 8 mètres plus haut. On rencontrait encore, il est vrai, l'obstacle qui avait imposé la solution vicieuse de 1832, et il eût fallu, pour plier le tracé au relief du sol, traverser sur toute sa longueur le parc de Commarin, et déboucher ensuite au milieu du

village; mais il valait mieux échapper à toutes ces difficoltés en évitant le parc et le village par un petit souterrain et reporter plus haut l'origine de la rigole; on lui donnait ainsi un notable excès de pente, dont on s'est servi pour faciliter l'introduction des affluents secondaires.

Revenons maintenant au réservoir : sa surface, qui n'était que de 68 hectares, devait se trouver plus que doublée par l'exhaussement projeté ; le long des contreforts qui l'embrassent sur moitié de son périmètre, la pente du sol est assez prononcée; mais dans la direction du thalweg de Panthier, il n'en était pas de même : il restait de ce côté une grande étendue d'excellents prés à très faible pente, dont les eaux du réservoir eussent fait un marécage; il a paru préférable de limiter la submersion par une digue de ceinture d'une hauteur modérée, ce qui du reste ne diminuait que d'un faible volume la capacité totale. Un aqueduc souterrain devenait par suite nécessaire pour l'assainissement des terrains ainsi préservés; cet aqueduc, établi à plusieurs mètres au-dessous du niveau maximum du réservoir, conduit les eaux du vallon de Panthier en aval de la digue de retenue.

Les travaux se divisent ainsi en trois groupes distincts.

1° *Digue principale, ou de retenue*, et ses ouvrages accessoires, prises d'eau, déversoir, etc.

2° *Digue secondaire, ou de ceinture*, et aqueduc d'assainissement des terrains en arrière.

3° *Rigole de remplissage* et ses ouvrages de prise d'eau.

1° Digue principale.

La faible hauteur de l'ancienne retenue devait être portée de $7^{m},60$ à $13^{m},60$ au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange; le revêtement à pierre sèche de l'ancienne digue, étant d'ailleurs en fort mauvais état, ne pouvait être conservé, et cette digue ne constituait plus ainsi qu'un remblai

à incorporer dans le massif de la digue nouvelle dont les dispositions sont toutes différentes.

Profils et dispositions générales.— Du côté du réservoir, le profil de la digue se compose d'une série de gradins inclinés à 4 de base pour 3 de hauteur et séparés par des banquettes de 3 mètres de largeur (Pl. 28, *fig.* 2). Chaque gradin rachète avec la banquette correspondante une hauteur de $3^m,15$. Du côté d'aval, les talus réglés à 2 de base pour 1 de hauteur sont interrompus par des banquettes de 2 mètres de largeur espacées verticalement de 4 mètres. La plateforme supérieure, établie à $1^m,70$ au-dessus des plus hautes eaux, a 4 mètres de largeur, non compris le parapet maçonné et la dernière banquette du revêtement, ce qui porte en réalité à $6^m,70$ sa largeur en couronne.

En plan, la digue se compose de trois alignements ayant ensemble une longueur de 1.100 mètres. A peu près au milieu de l'alignement central, correspondant à l'emplacement de l'ancienne digue, se trouve l'aqueduc de vidange du réservoir; le déversoir et les ouvrages de prise d'eau ont été établis vers l'extrémité de l'alignement de la rive droite, à proximité de la maison de garde.

Remblais. — Les seules terres dont il fut possible de disposer pour former le corps de la digue étaient des argiles du lias; l'emploi de ces argiles présente les plus grandes sujétions : si l'on veut éviter par la suite de graves accidents, on doit s'astreindre pendant l'exécution de ces terrassements à des précautions minutieuses, et le pilonnage de ces remblais devient une opération délicate et compliquée.

Les terres provenaient d'emprunts faits sur les deux rives du réservoir, à 600 mètres environ des extrémités de la digue; elles étaient amenées par wagons, régalées par couches de $0^m,15$ d'épaisseur et soumises ensuite à l'action de rouleaux compresseurs cannelés; ce cylindrage offrait souvent des difficultés par suite des changements d'état que les argiles liasiques subissent sous l'influence

des modifications atmosphériques. Lorsqu'elles sont desséchées, elles acquièrent une grande dureté, et, les terres apportées par les wagons renferment de grosses mottes qu'il faut briser, un arrosage devient même souvent nécessaire ; pour peu, au contraire, que ces terres soient humides, elles adhèrent aux rouleaux cannelés au point de rendre le travail impraticable. Le pilonnage comprenait donc plusieurs opérations successives.

1° *Compression préliminaire à l'aide de rouleaux à surface lisse du poids de 7 à 800 kilog.* (*) *promenés à deux ou trois reprises sur la couche à pilonner.* — Le passage de ces rouleaux avait pour effet d'écraser les mottes qui avaient échappé au cassage grossier fait par les régaleurs ; en donnant aux terres un premier degré de compression, il les rendait moins adhérentes aux rouleaux cannelés, dont l'emploi immédiat n'eût pas été possible.

2° *Compression et corroyage au moyen de rouleaux à cannelures rectangulaires, pesant de 12 à 1.500 kilog.* (**). — Cinq ou six passages de ces rouleaux étaient nécessaires pour corroyer les terres ; on arrêtait le pilonnage, lorsque les cannelures ne laissaient plus qu'une légère empreinte sur la surface du remblai.

Telle était la marche du travail, lorsque les terres se présentaient avec le degré d'humidité le plus favorable ; mais, lorsqu'elles étaient trop sèches, ce qui est arrivé en 1870, l'opération se compliquait beaucoup. Les rouleaux lisses devenaient impuissants, et il fallait préalablement briser les mottes au moyen d'un rouleau spécial à cannelures triangulaires pesant près de 2.000 kilog. ; il fallait en outre, pour opérer la liaison des couches, les arroser au moyen de tonneaux. Le pilonnage exigeait ainsi, dans certains cas, jusqu'à dix passages successifs de véhicules sur la même couche ; il en résultait alors de véritables

(*) Y compris une surcharge de 300 kilog.
(**) Y compris une surcharge de 5 à 600 kilog.

difficultés pour assurer le fonctionnement régulier de tous les attelages ; aussi ce travail, trop minutieux pour être confié à l'entreprise, a-t-il été exécuté en régie ; nous en ferons connaître plus loin le prix de revient. Les terrassements de la digue ont été terminés en 1872, et se sont parfaitement comportés depuis ; aucun mouvement ne s'est produit dans la masse des remblais, qui n'a subi qu'un tassement d'ensemble à peine appréciable.

Revêtement et consolidation du talus intérieur. — Les remblais en terre argileuse sont sujets à se rompre en grandes masses. Bien que les conditions dans lesquelles se produisent ces accidents redoutables soient encore environnées d'une certaine obscurité, on peut cependant se rendre compte d'une manière générale des causes qui leur donnent naissance. Lorsque la surface d'un terrain argileux est longtemps soumise à l'action du soleil, les argiles durcissent et éprouvent en même temps un tel retrait, qu'il s'y forme de profondes fissures, pouvant atteindre jusqu'à 1 mètre de profondeur ; si des pluies abondantes surviennent ensuite, les eaux pénètrent dans ces fissures et s'y infiltrent ; tandis que les couches supérieures du remblai se gonflent en revenant à leur volume primitif, les couches inférieures se ramollissent sous l'influence de l'eau emprisonnée dans les fissures ; l'équilibre finit par se rompre quelque part, et, une fois commencé, le mouvement peut se propager latéralement sur une grande surface. La digue du réservoir de Cercey, construite à la même époque que la première digue de Panthier et avec les mêmes argiles, a subi de nombreux accidents de cette nature ; le dernier et l'un des plus graves a eu lieu en septembre 1866 sur le talus intérieur ; il s'est étendu sur plus de 150 mètres de longueur, et l'épaisseur de la masse détachée atteignait 4 mètres normalement au talus.

La gravité de ces accidents est telle, lorsqu'il s'agit d'un réservoir, que l'on ne doit rien négliger pour les pré-

venir ou tout au moins pour en limiter l'étendue. Il importe avant tout de soustraire les talus des digues aux alternatives de sécheresse et d'humidité. Le talus extérieur devra être soigneusement gazonné; la plateforme supérieure, où l'infiltration des eaux est plus particulièrement à redouter, sera recouverte d'une chaussée aussi imperméable que possible, et disposée de manière à assurer l'écoulement rapide des eaux. Sur le talus intérieur, le revêtement de défense contre l'action des vagues sera maçonné à mortier, afin de s'opposer plus efficacement, quand le réservoir est vide, au dessèchement de la surface et à la pénétration des eaux pluviales.

Les glissements étant d'autant plus à redouter que la hauteur du talus est plus grande, il est indispensable de la fractionner par des banquettes limitant à 3 ou 4 mètres la hauteur de chaque talus partiel; nous avons indiqué plus haut la disposition de ces banquettes pour les deux talus de la digue. Le talus intérieur est revêtu d'un perré maçonné de $0^{m},50$ d'épaisseur (Pl. 28, *fig.* 3); il est en outre décomposé en compartiments distincts par des murs destinés à empêcher la propagation latérale des glissements. La réparation de ces graves avaries, exigeant la mise à sec du réservoir, peut en effet compromettre toute l'alimentation du canal, et l'on ne saurait prendre trop de précautions pour les arrêter au début. Ces cloisons en maçonnerie, établies suivant la ligne de plus grande pente, sont espacées de 40 mètres dans la partie centrale et de 60 mètres vers les extrémités; elles s'enfoncent assez dans le corps du remblai pour descendre au-dessous de la surface inférieure des glissements; leur épaisseur de $1^{m},50$ suffirait pour résister à la poussée latérale des terres, dans le cas où l'on viendrait à déblayer un compartiment; elles n'ont été exécutées qu'après la confection des remblais, au moyen de fouilles fortement blindées que l'on remplissait de maçonnerie.

Mur de garde à l'amont. — Les digues en terre établies dans les vallons de l'Auxois ne doivent pas être considérées comme reposant sur un terrain absolument imperméable. Les puissantes assises marneuses qui constituent le sous-sol sont toujours recouvertes d'une certaine épaisseur de terrain détritique. Dans l'emplacement de l'ancienne digue de Panthier, la marne dure, à peu près imperméable, ne se rencontre qu'à une profondeur de 4 mètres à $4^m,50$; les couches supérieures, de consistance assez diverse, se laissent jusqu'à un certain point pénétrer par les eaux; la marne compacte soutient en effet une nappe d'eau que l'on a rencontrée dans les sondages faits sur l'emplacement de la digue et dans la fouille de l'aqueduc de vidange.

Le terrain détritique se présentait d'une manière fort irrégulière dans les contreforts où devaient s'enraciner les extrémités de la nouvelle digue. Sur la droite, son épaisseur est assez grande; mais une veine d'argile ferrugineuse, située dans l'emplacement de l'ancien déversoir, et mise à nu par l'action des vagues, laissait passer des suintements appréciables, lorsque le réservoir était en eau. Sur la rive gauche, le terrain détritique manque presque en entier; les couches supérieures de la marne, à peine recouvertes d'une faible épaisseur de terre végétale et divisées en feuillets fort minces, sont assez perméables; la marne compacte n'apparaît que plus bas.

La digue a été enracinée dans le sol de 1 mètre en moyenne, c'est-à-dire que l'on a déblayé jusqu'à cette profondeur et remplacé par des remblais bien pilonnés le terrain détritique enlevé (Pl. 28, *fig.* 3); en outre, des clefs d'enracinement longitudinales de 2 mètres de largeur ont été enfoncées à 1 mètre au moins au-dessous de l'encastrement général. Enfin, pour intercepter autant que possible la nappe d'eau qui existait naturellement sous la digue, on a établi au pied du talus d'amont un mur de garde en béton de $1^m,50$ d'épaisseur, coupant toute la couche des

terrains détritiques et pénétrant de $0^m,50$ au moins dans la marne dure. Il est surmonté d'un mur de butée contre lequel vient s'arrêter le pied des remblais; les déblais provenant des fouilles ont été régalés en avant du mur, suivant une pente très douce. On a régalé de même au pied du talus extérieur tous les déblais marneux impropres aux remblais que l'on avait extraits des clefs d'enracinement.

Déversoir et ouvrage de prise d'eau. — Les anciens ouvrages du réservoir étaient d'une extrême simplicité; ils se composaient :

1° d'un déversoir de 4 mètres de largeur;

2° d'une vanne unique de prise d'eau fermant l'aqueduc de vidange établi au milieu de la digue.

L'exhaussement de la retenue nécessitait l'établissement de nouvelles vannes de prise d'eau. Quant au déversoir, il devait être reporté plus loin; son débouché de 4 mètres, qui avait toujours largement suffi, n'avait pas besoin d'être augmenté, puisque le versant direct était réduit par suite de la construction de la digue de ceinture.

L'ouvrage de prise d'eau exigeait une étude plus délicate. La première idée qui se présentait était de remplacer l'ouvrage primitif par une tour de prise d'eau plus élevée renfermant trois vannes étagées. Mais, en agissant ainsi, il eût fallu remanier à nouveau d'anciens remblais consolidés, et l'on sait combien il est difficile de lier convenablement un ouvrage de maçonnerie de grandes dimensions avec les remblais d'une digue. Il faut remarquer d'ailleurs que, dans un ouvrage de cette nature, ce sont les vannes supérieures qui ont à débiter la plus grande partie des eaux; si l'on suppose, en effet, le réservoir partagé par un plan horizontal passant à $7^m,50$ au-dessous du niveau de la retenue, la tranche supérieure, de $7^m,50$ de hauteur, renfermera 6.700.000 mètres cubes, et la tranche inférieure, de $6^m,10$, n'en contiendra qu'un million.

Des trois étages de vannes que l'on aurait à réunir dans

un ouvrage central, deux seulement fonctionneraient habituellement, et la vanne inférieure, n'ayant à débiter qu'un huitième environ du volume total, serait réduite au simple office d'une vanne de vidange manœuvrée à de longs intervalles; dès lors, les vannes supérieures peuvent être reportées à l'extrémité de la digue et n'exigent plus la construction d'un ouvrage à grand relief. Celui que nous avons été conduit à projeter sert en même temps de déversoir et de prise d'eau, et reçoit en outre les eaux provenant du vallon de Panthier, dont la création de la digue de ceinture interrompt l'écoulement direct. Cet ouvrage, qui paraît au premier abord un peu compliqué, comprend (Pl. 28, *fig.* 4 à 9) :

1° Un déversoir de superficie de 4 mètres de largeur;

2° Deux vannes de prise d'eau supérieures, dont le seuil est à 3 mètres au-dessous du niveau de la retenue;

3° Une vanne inférieure, dont le seuil est à $7^{m},50$ au-dessous de ce même niveau.

Les eaux qui s'échappent de ces divers orifices tombent toutes dans un puits demi-circulaire de 4 mètres de diamètre. Dans ce puits débouche également l'aqueduc servant à écouler les eaux du vallon de Panthier lorsque le réservoir est plein. Arrivées au fond du puits, les eaux sont évacuées par une galerie souterraine qui les ramène dans la rigole de fuite de l'ancien déversoir, aboutissant au ruisseau de Commarin, où elles peuvent être reprises pour l'alimentation du canal.

L'ouvrage établi, moitié en déblai, moitié en remblai, ne présente qu'un faible relief au-dessus du sol; les deux vannes supérieures puisent directement l'eau dans le réservoir; un aqueduc souterrain de $57^{m},55$ de longueur les amène à la vanne inférieure, établie à $5^{m},33$ au-dessous du terrain naturel.

L'ancienne prise d'eau du réservoir a été maintenue

sans modification, et, à l'avenir, servira seulement de vanne de vidange.

Les crics des deux vannes supérieures sont fixés à demeure sur la plate-forme de l'ouvrage; un cric portatif, s'adaptant sur un bâti en fonte, sert à la manœuvre de la vanne inférieure et de la vanne de vidange.

La solution que nous avons adoptée pour ne pas avoir à remanier le centre de l'ancienne digue peut également s'appliquer à un réservoir neuf; nous pensons même que, dans la plupart des cas, il y aurait avantage à débarrasser la partie centrale des barrages des tours de prise d'eau si élevées que l'on y établit communément; les vannes supérieures, qui sont appelées à débiter presque tout le volume d'eau fourni par le réservoir, peuvent être plus facilement établies vers une extrémité, dans un ouvrage à demi souterrain, tel que celui qui vient d'être décrit.

2° Digue secondaire.

Si l'on jette les yeux sur le plan du réservoir, où les courbes de niveau dessinent les ondulations du sol, on remarque, à peu près en face de la digue principale, une région à faible pente que traverse le ruisseau de Panthier. Ces terrains plats sont des prés de très bonne qualité; leur valeur est d'autant plus grande aujourd'hui que l'élevage du bétail s'est beaucoup répandu depuis quelques années dans l'Auxois. L'exhaussement de la retenue devait couvrir cette prairie d'une couche d'eau peu profonde, et, si l'on n'eût pas limité artificiellement la nappe d'eau du réservoir, elle se serait perdue vaguement au milieu d'un terrain presque horizontal. Les prés riverains auraient été endommagés, soit par les infiltrations, soit par les vagues, jusqu'à une assez grande distance de ce rivage mal défini, et l'on aurait été conduit, comme on l'a été pour d'autres réservoirs du canal, à acquérir tous ces terrains jusqu'à

une hauteur de $0^m,50$ au-dessus de la retenue. Les populations riveraines ne voyaient pas, du reste, sans inquiétude la création d'un foyer d'émanations marécageuses.

Il fallait donc limiter le réservoir par une digue de ceinture. La diminution de capacité qui en résultait n'avait pas d'importance, car elle n'atteignait pas 250.000 mètres cubes, soit un trentième de la capacité totale; la dépense d'établissement de la digue ne devait pas d'ailleurs dépasser de beaucoup la valeur des terrains préservés.

Dispositions générales de la digue. — La digue de ceinture a plus de 1.200 mètres de longueur; mais sa hauteur n'est un peu considérable qu'au point où elle traverse le thalweg du vallon de Panthier. Elle est simplement formée d'un remblai de $4^m,50$ de largeur en couronne, arasé à $1^m,50$ au-dessus de la retenue; les talus sont réglés à deux de base pour un de hauteur. Dans la partie la plus élevée, le pied du talus intérieur est soutenu par une banquette de $2^m,10$ de largeur.

Le perré de défense du talus est à pierre sèche, sauf dans la partie la plus élevée, où il est maçonné à mortier. Des chaînes, également maçonnées à mortier, le divisent en compartiments indépendants de 20 mètres de largeur ; ces chaînes ont pour but de limiter les déformations qui pourraient se produire par suite des tassements.

Ouvrages accessoires et aqueduc de décharge. — Lorsque les eaux du réservoir n'atteignent pas encore le pied de la digue, celles du vallon de Panthier s'y introduisent librement par un aqueduc ménagé, à cet effet, au passage du thalweg. Mais, dès que le niveau de la retenue dépasse le seuil de cet aqueduc, il doit nécessairement être fermé ; afin de ne pas perdre, à partir de ce moment, les eaux du ruisseau de Panthier pour le remplissage, une rigole de dérivation (Pl. 27, *fig.* 1) les amène au niveau maximum de la retenue, et les verse dans le réservoir par une échancrure pratiquée dans le couronnement de la digue. Toute-

fois cette rigole ne suffirait pas pour assurer en tout temps l'écoulement des eaux du vallon, et il fallait y pourvoir par un ouvrage de décharge tout spécial. Un fossé de ceinture, suivant le pied de la digue sur toute sa longueur, reçoit les eaux qui s'écoulent de la prairie et celles du ruisseau de Panthier, et aboutit à un aqueduc souterrain de 475 mètres de longueur (Pl. 27, *fig.* 1) qui, passant sous le réservoir, vient, ainsi que nous l'avons dit plus haut, tomber dans le puits de l'ouvrage de prise d'eau de la grande digue. Cet aqueduc a 1 mètre de largeur et $1^{m},80$ de hauteur sous clef, soit un débouché de $1^{m2},40$ environ; la superficie du versant étant de 3 kilomètres carrés, ce débouché peut paraître faible en comparaison de ceux que l'on donne souvent aux ponceaux établis dans les vallons argileux du lias; mais il faut remarquer ici qu'il s'agit d'un canal maçonné à surface régulière, possédant en aval un débouché parfaitement libre, puisqu'il se termine par une chute de $1^{m},50$ en arrivant au puits de l'ouvrage de prise d'eau de la grande digue.

3° Rigole de remplissage.

Le versant total dont le réservoir doit recueillir les eaux de $26^{k},6$, qui se décomposent ainsi qu'il suit :

			kilom.	kilom.
Versant direct du réservoir.	Réservoir et terrains dont les eaux ne peuvent être détournées.		3,5	6,5
	Versant dont les eaux peuvent être évacuées par l'aqueduc de décharge souterrain.		3,0	
Versant de la rigole de remplissage.	Versant supérieur dont les eaux se réunissent à l'origine de la rigole.		6,9	20,1
	Affluents recueillis par la rigole sur son parcours.	Rive gauche.	1,3	
		Rive droite .	11,9	
	Total.			26,6

La rigole a donc, à elle seule, à fournir plus des trois

quarts des eaux nécessaires au remplissage. Les petits affluents qu'elle recueille sur son parcours, coulant dans des vallons à pente rapide et à versants imperméables, sont extrêmement torrentiels : à peu près à sec pendant une grande partie de l'année, ils éprouvent, lorsqu'ils sont subitement gonflés par la fonte des neiges ou par un orage, des crues violentes et de courte durée ; il fallait, sous peine de perdre la majeure partie du produit des versants, que la rigole pût débiter le volume d'eau fourni par ces crues et participât ainsi au caractère torrentiel de ses affluents. En laissant de côté les crues exceptionnelles dont le maximum ne dure qu'un petit nombre d'heures, le débit des fortes crues ordinaires est d'environ $0^{m^3},5$ par kilomètre carré de versant. D'après cette base, le débit de la rigole, à son extrémité amont, devait être $0,5 \times 6,9 = 3^{m^3},45$ par seconde; en descendant vers l'aval, il devait s'accroître progressivement, par suite de l'adjonction successive des affluents, pour atteindre, à l'arrivée au réservoir : $0,5 \times 20,1$, soit $10^{m^3},05$. Ce débit est considérable; une rigole en terre non revêtue n'aurait pu le fournir qu'en lui assignant des dimensions excessives; car sa pente ne saurait, eu égard à la nature peu résistante du terrain, dépasser dans ce cas $0^m,20$ à $0^m,30$ par kilomètre. Nous avons été ainsi conduit à établir une rigole à forte pente entièrement revêtue de perrés; ce qui a permis de répartir la chute totale de 10 mètres dont on disposait, de manière à satisfaire aux nombreuses sujétions du tracé. La pente va en croissant de l'amont à l'aval, et se trouve interrompue au passage des ruisseaux par des chutes qui sont, comme nous l'expliquerons plus loin, utilisées pour l'établissement des prises d'eau (Pl. 27, *fig.* 2).

Dans la partie supérieure de la rigole, depuis l'origine jusqu'au ruisseau de Palloux, premier affluent important, la pente n'est que de $0^m,25$ par kilomètre. En aval de la prise d'eau de Palloux, elle est de $0^m,40$ par kilomètre jus-

qu'à la rencontre d'un second affluent (ruisseau de Semarey) ; à partir de ce point, elle augmente beaucoup et atteint 2 millimètres par mètre jusqu'au passage du ruisseau de Solle, puis enfin 3 millimètres par mètre depuis ce ruisseau jusqu'au réservoir.

Profil de la rigole. — Le profil constant de la rigole est un trapèze de 2^{m},50 de largeur au plafond, avec talus inclinés à 1 $\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur ; le fond et les talus, jusqu'à 1^{m},30 de hauteur verticale, sont revêtus d'un perré à pierre sèche, sauf dans la section supérieure à faible pente ; ce perré a été maçonné à mortier dans les parties en remblai où l'on pouvait avoir à redouter des infiltrations, et en aval des chutes, afin de résister plus efficacement à l'action des eaux.

Prises d'eau. — Les prises d'eau sont au nombre de six, savoir :

	SUPERFICIE des versants correspondants.
	kilom.
Prise d'eau du ruisseau d'Echannay (à l'origine de la rigole)	6,9
Prise d'eau du ruisseau de Volna	1,3
Prise d'eau du ruisseau de Palloux	5,5
Prise d'eau du ruisseau de la prairie de Semarey	3,2
Prise d'eau du ruisseau de Solle	3,2
Total	20,1

Elles ne sont pas toutes établies sur le même type. La première ne présente rien de particulier ; l'origine de la rigole a été placée dans un coude du ruisseau, dont les eaux, retenues par un barrage de faible hauteur, peuvent, au moyen de vannages convenablement disposés, être à volonté introduites dans la rigole, ou laissées à leur cours naturel. Quant au petit ruisseau de Volna, que la rigole ne rencontre pas, une dérivation de 84 mètres de longueur va en chercher les eaux pour les verser dans la rigole princi-

pale. Mais les autres prises d'eau ont été construites suivant un type particulier; il n'était pas possible de recevoir en tout temps dans la rigole le produit des affluents torrentiels qu'elle traverse sur son parcours; il fallait donc, tout en les franchissant sur des aqueducs, se ménager le moyen de disposer librement de leurs eaux. La solution, habituellement adoptée en pareil cas, consiste à établir quelque part en amont, sur le cours du ruisseau, une prise d'eau distincte, reliée par une petite rigole spéciale à la rigole principale : c'est le système qui a été partout suivi lors de la création du canal de Bourgogne; il aurait présenté ici de sérieux inconvénients. Le vallon de Commarin, où l'élevage du bétail a pris un grand développement, se trouve découpé en prés clos de diverses dimensions; les rigoles de prise d'eau, qu'il eût fallu créer à la rencontre de chaque affluent, auraient traversé bon nombre de ces propriétés, et l'on aurait eu à payer des indemnités très considérables.

Afin d'éviter ces difficultés, on a profité de l'excès de pente de la rigole pour abaisser brusquement son plafond immédiatement après la traversée de chaque ruisseau, et cette chute lui permet de recevoir les eaux du ruisseau sans qu'il soit nécessaire d'aller les chercher au loin par une rigole secondaire. La prise d'eau et l'aqueduc ne forment plus ainsi qu'un seul ouvrage, dont les *fig.* 1, 2, 3, 4, Pl. 29 font aisément comprendre la disposition. Les eaux du ruisseau, retenues à l'aide d'un petit barrage en maçonnerie, sont introduites dans un canal maçonné, à l'extrémité duquel se trouvent deux vannages; l'un d'eux verse les eaux dans la rigole en aval de la chute, l'autre sert de décharge et renvoie au besoin les eaux dans le lit naturel, en aval du barrage de retenue. On a ainsi réussi à concentrer les ouvrages et à éviter la construction d'au moins 1 kilomètre de rigoles secondaires, qui eussent morcelé de la manière la plus fâcheuse les prés clos servant à l'élevage du bétail.

Souterrain de la Magnanerie. — Le souterrain, de 258 mètres de longueur, au moyen duquel la rigole passe derrière le parc de Commarin, a été ouvert tout entier dans la marne rocheuse du lias. Son profil, complètement curviligne, se rapproche beaucoup d'un cercle de $2^m,50$ de diamètre. Les maçonneries ont $0^m,60$ d'épaisseur (Pl. 29, *fig.* 5).

Ouvrages divers. — Indépendamment des prises d'eau et du souterrain, l'établissement de la rigole a exigé la construction d'un assez grand nombre d'ouvrages divers : ponceaux, buses, etc. Ces ouvrages ne présentent rien qu'il soit nécessaire de signaler ici ; nous mentionnerons seulement la disposition adoptée pour l'introduction des eaux dans le réservoir. La rigole débouche au niveau même de la retenue, lorsque le réservoir n'est pas complètement rempli, les eaux descendent, en sortant de la rigole, sur un plan incliné à $0^m,065$ par mètre. Ce rapide est évasé graduellement en forme d'éventail, de manière à diminuer l'épaisseur de la lame d'eau. Il est revêtu d'un perré à pierres sèches, consolidé par des bandes transversales de maçonnerie à mortier, qui ont pour but d'empêcher l'entraînement du radier par le courant.

Dépense totale et durée des travaux.

La dépense totale de l'entreprise s'est élevée à $1.817.658^f,03$ et se répartit ainsi :

		fr.	fr.	fr.
Digue principale.	Terrassements proprement dits. .	289.414,91	383.721.00	882.337,05
	Pilonnages	52.702,63		
	Essartements, blindages, empierrement de la plate-forme. . . .	41.603,46		
	Revêtement.	415.611,42	498.616,05	
	Ouvrages d'art de la digue (tour de prise d'eau et ses aqueducs, allongement de l'aqueduc de vidange, maison de garde). . .	83.004,63		
	A reporter.			882.337,05

				fr.
	Report			882.337,05
		fr.	fr.	
Digue secondaire.	Terrassements proprement dits	65.612,03	79.746,33	244.040,52
	Pilonnages	9.036,17		
	Essartements, etc.	5.098,13		
Aqueduc de décharge.	Revêtement	80.312,48	94.231,18	
	Ouvrages d'art de la digue	13.918,70		
Chemin périmétrique.	Aqueduc de décharge du vallon de Panthier	53.012,57	70.063,01	
	Chemin périmétrique	17.050,44		
Rigole de remplissage.	Terrassements proprement dits	43.711,34	59.263,25	290.112,01
	Pilonnages	3.663,21		
	Essartements, épuisements, etc.	11.888,70		
	Revêtement	54.415,62	230.848,76	
	Souterrain	57.491,13		
	Prises d'eau	55.948,97		
	Ouvrages d'art divers	62.993,04		
Frais généraux et acquisitions de terrains.	Matériel employé aux pilonnages, baraques, etc.	31.269,56	57.933,86	401.168,45
	Personnnel des travaux	26,664,30		
	Acquisitions de terrains, indemnités, etc.	343.234,59	343.234,59	
	Dépense totale			1.817.658,03

On voit, par les chiffres ci-dessus, que les pilonnages ont coûté, pour les deux digues, 62.000 francs environ; il faut y ajouter la valeur du matériel (rouleaux cannelés, pompes et tonneaux d'arrosage, etc.), savoir :

	fr.
9 Rouleaux	4.500
4 Tonneaux d'arrosage	2.000
Pompes, manèges, outils, etc.	3.000
Total	9.500

Ce qui porte la dépense des pilonnages à 71.500 francs; si l'on veut déduire de ces chiffres le prix de revient du pilonnage au moyen des rouleaux, il faut défalquer du total précédent : 1° une somme de 8.800 francs dépensée pour pilonnage à la batte sur quelques points que ne pouvaient atteindre les rouleaux (remblais autour des ouvrages d'art, clefs de corrois, etc.) ; 2° la valeur du matériel à la fin de

l'entreprise, estimée à un tiers au moins de sa valeur d'achat, soit 3.200 francs : ce matériel, encore en bon état, va être utilisé de nouveau dans les travaux de transformation du canal. La dépense totale, pour le pilonnage par rouleaux de 270.000 mètres cubes de remblai, ressort, après cette double déduction, à 59.500 francs et se répartit ainsi qu'il suit :

	fr.		fr.
Pilonnage proprement dit (matériel compris). . .	42 000,	soit par mètre cube	0,155
Arrosage des remblais (matériel compris). . . .	9.500	id.	0,035
Frais de surveillance et divers.	8.000	id.	0,030
Total.	59,500,	soit par mètre cube	0,220

Commencés dès 1867, les travaux avaient été interrompus par la guerre de 1870 ; ils n'ont pu être terminés qu'en 1873, à travers bien des difficultés, que le dévouement et l'activité remarquables de M. le conducteur Barbe, attaché à ces travaux depuis le début jusqu'à leur entier achèvement, nous ont permis de surmonter heureusement.

L'eau a été remise au réservoir à la fin de 1872 ; malgré les soins minutieux apportés à la construction de la grande digue, il n'avait pas semblé prudent d'élever la retenue à son niveau maximum dès la première année, et c'est seulement pendant l'hiver de 1875-76 que ce niveau a été atteint. Le réservoir a fourni, en 1876-77-78, 18 millions de mètres cubes d'eau qui ont permis de donner sans interruption à la batellerie un tirant d'eau de 1,80 au-dessus des buscs des écluses; l'expérience de ces trois années a démontré en outre que tous les ouvrages fonctionnent convenablement et que le remplissage du réservoir est assuré par la nouvelle rigole : le but que l'on s'était proposé a donc été complètement atteint.

Dijon, le 21 juillet 1879.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Septembre 1880.

N° 55

Filtration des eaux au moyen du fer en éponge. — Il y a déjà quelques années que M. Gustave Bischof a fait connaître les remarquables propriétés du fer en éponge comme matière filtrante pour purifier l'eau destinée à la boisson. Bien que ce corps soit employé actuellement pour les usages domestiques et que des expériences nombreuses aient constaté son efficacité, on n'avait pas encore songé à l'utiliser dans les grandes distributions d'eau.

Il paraît que MM. Easton et Anderson veulent en faire l'application aux filtres de la distribution d'Anvers qu'ils construisent en ce moment. Pour déterminer l'effet du fer en éponge sur l'eau de la Nethe qui doit servir à l'alimentation de la distribution, ils ont récemment entrepris une série d'expériences sur une vaste échelle, et en ont déduit des résultats très intéressants. Leur installation se composait de deux grandes bâches en fonte ayant chacune une section horizontale de $31^{mq},77$. La profondeur de l'une était de $3^{m},35$, et celle de l'autre $2^{m},28$. Dans la plus grande, on avait construit un fond en briques portant une couche de 0,915 de fer en éponge, et de gravier mélangés dans la proportion de 1 à 3. Au-dessus était disposé un lit de sable fin de $0^{m},45$. L'eau sortant de cette premère bâche était conduite dans la seconde dont le fond était couvert d'une épaisseur de $0^{m},61$ de sable.

Le rôle de ce second filtre est le suivant : en passant au travers du fer en éponge, l'eau en dissout une petite quantité sous forme de protoxyde. Si on ne faisait pas disparaître cette matière, elle se peroxyderait au contact de l'air avec l'eau et donnerait lieu à un dépôt brunâtre.

Dans les filtres employés pour les usages domestiques, on pré-

vient la peroxydation, en ajoutant dans les appareils du bioxyde de manganèse qui retient le protoxyde de fer qui s'est formé. Il ne serait évidemment pas commode d'être obligé de recourir au manganèse, quand on opère sur une grande échelle. Le dispositif que nous venons de décrire plus haut remplit le même office. L'eau en passant d'une bâche dans l'autre se trouve au contact de l'air qui amène la péroxydation du fer ; le précipité se forme et est retenu par la couche de sable filtrant contenue dans la deuxième bâche. De cette manière l'eau sort parfaitement claire.

En employant le dispositif qu'on vient d'indiquer, MM. Easton et Anderson ont trouvé qu'ils pouvaient filtrer l'eau de la Nethe à raison de 7.336 litres par mètre carré de surface filtrante et par vingt-quatre heures, ou de 305 litres par mètre carré et par heure. Ces résultats sont supérieurs à ceux que donnent les filtres soignés qu'on emploie généralement.

Jusqu'à présent l'expérience semble montrer que le fer en éponge n'a pas besoin d'être revivifié ou renouvelé. Son rôle paraît être d'oxyder les matières organiques tenues en suspension dans l'eau qui le traverse. Des expériences faites à Londres en 1877, ont montré que l'eau chargée des matières les plus impures (eau de la Tamise en vives eaux), perdait plus des neuf dixièmes de ces matières, et pouvait être considérée comme presque chimiquement pure. La *dureté* diminuerait aussi de près de moitié. Nous donnons ici un exemple se rapprochant à peu près de la moyenne des résultats obtenus. Les quantités sont exprimées par rapport à un volume d'eau égal à 100.000.

Eau fournie par le Grand Junction Company.

MATIÈRES.	QUANTITÉ avant le filtrage.	QUANTITÉ après le filtrage.
Impuretés solides totales.	28,360	14,700
Matières organiques carboniques.	0,380	0,038
Matières organiques azotées.	0,074	0,012
Ammoniaque.	0,001	0,010
Matières azotées à l'état de nitrates et nitrites	0,265	0,128
Matières azotées à l'état de combinaisons.	0,340	0,148
Matières chlorurées.	1,650	1,700
Matières calcaires produisant la dureté. . .	18,000	8,100

La fabrication en grand du fer spongieux s'opère par un procédé intéressant sur lequel nous pourrons revenir plus tard, et où l'on emploie les fours du Dr Siemens. Les résultats que nous

venons de mentionner plus haut donnent un intérêt tout particulier à cette question ; nous tiendrons nos lecteurs au courant de ce qui s'y rattache, quand une expérience suffisamment prolongée aura corroboré les faits qui ont été annoncés par MM. Easton et Anderson.

Les explosions de chaudières en Angleterre en 1879. — Nous empruntons à l'*Engineering* le résumé suivant du nombre et des causes principales des explosions de chaudières en Angleterre, pendant l'année 1879. En comparant les éléments recueillis avec ceux qui se rapportent aux années antérieures, on peut former le tableau qui suit :

ANNÉE.	NOMBRE des explosions.	PERSONNES tuées.	PERSONNES blessées.
1873	78	57	85
1874	76	77	198
1875	68	81	142
1876	39	93	110
1877	44	54	75
1878	46	47	84
1879	30	38	53

Bien que le nombre des chaudières employées aille sans cesse en croissant, on peut cependant remarquer que la proportion des accidents va en diminuant. Ce fait s'explique d'une manière fort simple; la plupart des compagnies d'assurances ont constitué des services d'inspection pour la visite périodique des chaudières. Quoique les industriels ne se prêtent pas toujours de bonne grâce aux examens des ingénieurs choisis par les compagnies, l'intervention fréquente de ceux-ci a pourtant produit les meilleurs résultats et la preuve en est manifeste dans la décroissance du nombre des explosions.

Parmi les 91 personnes tuées ou blessées en 1879, 3 étaient les industriels ou leurs gérants ; 28 les mécaniciens ou chauffeurs ; 53 des ouvriers appartenant aux usines; 4 des étrangers qui se sont trouvés accidentellement près des usines ; enfin la qualité des 3 dernières n'a pas été déterminée d'une manière certaine.

Les chaudières qui ont fait explosion étaient employées dans les industries suivantes :

INDUSTRIES.	NOMBRE de chaudières.	TUÉS.	BLESSÉS.
Constructions en fer.	6	15	11
Marine	4	6	0
Moulins.	3	9	21
Mines.	3	3	5
Chemins de fer.	3	1	6
Agriculture.	2	2	1
Préparation de foin et paille. . .	2	0	2
Scieries.	2	0	1
Bateaux de canaux.	1	2	0
Produits chimiques	1	0	3
Machines élévatoires sur bateaux.	1	0	2
Eaux minérales	1	0	1
Travaux de cabinet	1	0	0
Totaux.	30	38	53

Les causes des explosions peuvent se rattacher aux chefs suivants:

A. — *Défauts de construction qu'on aurait pu prévenir par un examen sérieux avant la mise marche ou après les réparations :*

Mauvaise construction ou matières défectueuses.	3	5
Mauvaises réparations.	2	

B.— *Défauts qu'un examen aurait seul permis de reconnaître :*

Corrosion extérieure.	8	15
Corrosion intérieure.	7	

C. — *Défauts qu'auraient pu prévenir les hommes de service :*

Manque d'eau	4	9
Pression trop forte.	5	
Accidents dont la cause n'a pu être déterminée		1
Total.		30

Les types de chaudières auxquelles les accidents sont arrivées, ont été les suivants :

Chaudières à bouilleurs.

B	Corrosion externe.	4	5	7
	Corrosion interne	1		
C	Manque d'eau.	1	2	
	Pression trop forte.	1		

Chaudières à cylindre ordinaire.

A	Mauvaise construction.	1	3	8
	Mauvaises réparations.	2		
B	Corrosion extérieure	2	3	
	Corrosion intérieure.	1		
C	Manque d'eau.	1	2	
	Pression trop forte.	1		

Chaudières marines.

B	Corrosion extérieure	1	3	4
	Corrosion intérieure	2		
C	— Cause inconnue	1	1	

Locomotives. — Chaudières multitubulaires.

B	Corrosion extérieure	1	3	4
	Corrosion intérieure	2		
C	— Pression trop forte	1	1	

Chaudières verticales.

C	Manque d'eau	2	4
	Pression trop forte	2	

Chaudières tubulaires.

A	— Mauvaise construction	1	2
C	— Corrosion interne	1	

Chaudières à retour de flamme.

A	— Mauvaise construction	1	1
	Total		30

Chemins de fer au Mexique. — Dans son numéro du 4 juin 1880, la *Railroad Gazette* donne la situation des chemins de fer au Mexique. Nous la reproduisons ici. On se rendra compte des progrès réalisés en comparant les chiffres actuels avec ceux des années précédentes :

NOMS DES LIGNES.	LONGUEUR construite.	LONGUEUR restant à construire.	LONGUEUR totale.
	kilom.	kilom.	kilom.
De Celaya à Leon et Guanajato	46,670m	82,075m	128,745m
De Mexico à Toluca et Cuantitlan	43,450	80,465	123,915
De Cuantitlan à Tula	19,315	48,280	67,595
D'Ometusco à Pachuca et Tulancingo	12,875	82,075	94,950
De Merido à Peto et vers Ticul et le Texas	4,830	125,525	130,355
De Zacatetas à San-Luis, Aguas-Calientes et Lagos	8,050	450,610	458,660
De Mexico à l'embouchure de l'Amacusac	46,670	450,610	497,280
De San-Luis-Potosi à Tantoyuquita	4,830	210,820	215,650
De San-Martin-Tesmelucan à Puebla avec embranchement sur Huejotzinge et Cholula	17,700	32,185	49,885
De Merida à Progresso	32,185	4,830	37,015
De Puebla à Matamoros-Izucar	4,830	60,155	64,985
De Vera-Cruz à Alvarado	4,830	131,965	136,795
De Vera-Cruz à Medelin	22,530	»	22,530
De Vera-Cruz à Mexico	423,250	»	423,250
Embranchement de Puebla	46,670	»	46,670
Embranchement de Jalapa	146,450	»	146,450
Lignes de districts	185,070	»	185,070
	1.070,205	1.759,595	2.829,800

Il paraîtrait qu'un certain nombre des lignes les plus courtes seraient exploitées au moyen de chevaux. Le Mexique compte 9.920 kilomètres de lignes télégraphiques. En 1879, on a expédié 135.000 dépêches dont 41.216 en franchise. Le produit des recettes a été de 285.955 francs ; les dépenses se sont élevées à 637.605 fr. On estime que si les dépêches officielles avaient été taxées, les recettes auraient produit une somme triple de celle qu'on a indiquée.

Les tramways en Italie. — Il existe actuellement des réseaux de tramways dans vingt-quatre villes d'Italie. La longueur totale des lignes en service à la fin de 1879 était de 515 kilomètres. Sur ce nombre, 162 kilomètres sont exploités au moyen de chevaux, tandis que sur les 353 autres on fait usage de la traction mécanique.

En outre des lignes en exploitation, il y avait à la fin de 1879, 144 kilomètres de voie en construction et 1.007 kilomètres en projet. On a l'intention d'appliquer la traction, soit par la vapeur, soit par un procédé mécanique quelconque, sur 983 kilomètres des voies projetées.

Il semble que la traction mécanique devienne de plus en plus en faveur en Italie pour l'exploitation des lignes de tramways qui desservent le trafic suburbain.

O. C.

N° 56

RAPPORT (*)

DE

M. L. LALANNE,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées de 1re classe,
DÉLÉGUÉ DE LA FRANCE

A M. LE MINISTRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES
PRÉSIDENT DU CONSEIL

SUR LES TRAVAUX

DE

LA COMMISSION TECHNIQUE EUROPÉENNE

FORMÉE EN VERTU D'UN ACCORD INTERVENU

ENTRE

LES PUISSANCES SIGNATAIRES DU TRAITÉ DE BERLIN.

(Voir Planche 30.)

Paris, le 30 décembre 1879.

Monsieur le Ministre,

Exposé des antécédents de l'affaire. — Vous avez bien voulu, le 7 octobre dernier, me désigner pour représenter le Gouvernement de la République au sein d'une commission internationale appelée à examiner et à étudier diverses questions relatives à l'une des applications du traité de

(*) Les actes de la Commission technique européenne dont ce Rapport fait partie ont été publiés par le ministère des affaires étrangères et composent l'un des *livres jaunes* distribués aux membres des deux Chambres pendant la session de 1880.

L'insertion dans notre Recueil a été décidée par la Commission des *Annales* sur l'initiative d'un de ses membres.

Berlin. Je viens aujourd'hui vous rendre compte de la mission que vous m'avez fait l'honneur de me confier.

Vos instructions m'ont fait connaître comment est née la question principale qu'il s'agit de résoudre et par suite de quelles péripéties elle est restée jusqu'à présent en suspens. Aux termes de l'article 46 de l'acte du 13 juillet 1878 (*), la Principauté de Roumanie était appelée à recevoir le territoire situé au sud de la Dobroutcha jusqu'à une ligne ayant son point de départ à l'Est de Silistrie, et aboutissant à la mer Noire au Sud de Mangalia. La nouvelle frontière fut délimitée sur les lieux, à la fin de 1878, par une commission européenne, et le résultat de ses travaux est consigné dans un acte du 16 décembre de la même année (**). Les Commissaires d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie, de France, de la Grande-Bretagne, d'Italie et de Turquie y apposèrent leurs signatures. Mais le Délégué de Russie déclara qu'il n'était pas autorisé à donner son consentement aux travaux de la Commission, notamment à la

---

(*) L'article 46 du Traité de Berlin est ainsi conçu :

« Les îles formant le delta du Danube, ainsi que l'île des Serpents, le Sandjak de Toultcha, Matchin, Babadagh, Hirsovo, Kustendjé, Medjidié, sont réunis à la Roumanie.

« La Principauté reçoit, en outre, le territoire situé au Sud de la Dobroutcha jusqu'à une ligne ayant son point de départ à l'Est de Silistrie et aboutissant à la mer Noire au Sud de Mangalia.

« Le tracé de la frontière sera fixé sur les lieux par la Commission européenne instituée pour la délimitation de la Bulgarie. »

L'article 2 du même traité avait déjà dit :

« La Principauté de Bulgarie comprendra les territoires ci-après :

« La frontière suit, au Nord, la rive droite du Danube depuis l'ancienne frontière de Servie jusqu'à un point à déterminer par une Commission européenne, à l'Est de Silistrie, et de là, se dirige vers la mer Noire au Sud de Mangalia, qui est rattaché au territoire roumain. Cette délimitation sera fixée sur les lieux par la Commission européenne, où les puissances signataires seront représentées. »

(**) Commission de délimitation des frontières de la Bulgarie, instituée en vertu de l'article 2 du Traité de Berlin. — *Protocole n° 12, séance tenue à Constantinople le* 16 *décembre* 1878.

décision qui avait fixé le point de départ de la nouvelle frontière à l'Est de Silistrie, sur la rive droite du Danube, en face de Deyirmen-Tabia, à 800 mètres du bastion Nord-Est de la ville. En me faisant connaître les antécédents de l'affaire, Monsieur le Ministre, et tout en admettant qu'elle fût soumise à un nouvel examen, vous avez fait ressortir l'autorité d'une décision prise par six voix contre une, dans des conditions de compétence et d'impartialité incontestables. Il vous a paru hors de doute que les Puissances signataires du traité de Berlin ont entendu, par l'article 46, ménager à la Roumanie la possibilité d'établir une communication entre les deux rives du Danube, sur l'emplacement reconnu le plus propice en aval et dans les environs de Silistrie (*). Vous n'aviez donc aucune objection à approuver les conclusions des Délégués européens, et vous ajoutiez que, dans la part qu'il y avait prise, M. le commandant Lemoyne, qui avait opéré pour la France, avait scrupuleusement suivi vos instructions.

Le Cabinet de Saint-Pétersbourg s'étant fait fort, depuis, de prouver qu'il n'était pas nécessaire, pour exécuter fidèlement le traité de Berlin, de séparer la ville de Silistrie de sa banlieue, le Gouvernement de la République a con-

(*) « Le Prince de Hohenlohe fait remarquer que l'on ne peut préciser encore le point d'attache du côté de Silistrie, mais que la Commission a indiqué que ce point doit être l'emplacement où un pont pourrait être établi sur le Danube, à l'Est de Silistrie, pont qui relierait les deux rives roumaines du fleuve.

« Le comte Schouvaloff ayant admis qu'un pont réunissant les deux rives du Danube était nécessaire, et le baron de Haymerlé ayant ajouté que, de l'avis des experts, un seul point dans les environs est propice à la construction d'un pont, le Président demande si le Congrès accepte : 1° la ligne de frontière du Nord de la Bulgarie; 2° la ligne de Silistrie à Mangalia; 3° l'attribution des détails à l'étude d'une commission européenne.

« La Haute Assemblée donne son assentiment à ces propositions, qui règlent les limites Nord de la Principauté. »

CONGRÈS DE BERLIN, Protocole n° 15, p. 223. — Paris, Imprimerie nationale, 1878.

senti, d'accord avec les autres Puissances, et tout en réservant sa manière de voir, à prendre part à cette démonstration. En vertu de cet accord, ce n'est plus à la *Commission de délimitation* qui a opéré en 1878 en vertu de l'article 2 du traité de Berlin, c'est à une nouvelle *Commission technique*, où toutes les Puissances devaient être représentées, qu'a été confié le soin de rechercher s'il est possible d'édifier à la frontière roumano-bulgare un pont sur le Danube, ailleurs qu'à l'endroit fixé par la Commission de délimitation des frontières de la Bulgarie, et dans quelles conditions une telle construction pourrait être exécutée.

Les Cabinets étaient convenus que leurs Délégués se réuniraient à Silistrie le 27 octobre, et vous m'invitiez à prendre mes dispositions pour y être à cette date. La question qu'il s'agit de régler étant d'ailleurs pendante depuis la fin de 1878, vous ne cachiez pas qu'il y a intérêt à ce qu'elle reçoive le plus promptement possible une solution définitive.

Les considérations qui s'y rattachent pouvant revêtir facilement un caractère politique, vous m'engagiez à rester, autant que possible, étranger à toute préoccupation de cette nature. Le rôle du Délégué français devait consister à envisager le débat principalement par son côté technique. Le Gouvernement russe annonçait qu'il était en mesure d'indiquer, ailleurs que dans la banlieue de Silistrie, et sans exiger du Gouvernement roumain des sacrifices territoriaux ou financiers exagérés, un emplacement convenable pour l'établissement d'un pont sur le Danube. C'est sur la valeur de cette démonstration que la Commission technique européenne avait à se prononcer, et que vous avez bien voulu me demander mon opinion motivée.

Les pouvoirs de la Commission étaient d'ailleurs rigoureusement limités à la question qui vient d'être exposée. Ce n'étaient que dans le cas où les Délégués des Puissances

se seraient entendus pour proposer à l'unanimité une solution, que le différend aurait pu être tranché à Silistrie même ; dans le cas contraire, il y avait lieu d'en référer aux Cabinets qui doivent statuer en dernier ressort, d'après les rapports de leurs représentants.

C'est ce dernier cas qui s'est présenté ; et quoique les procès-verbaux des opérations de la Commission reproduisent avec exactitude et avec de longs développements les opinions émises au cours des débats, vous avez jugé opportun, Monsieur le Ministre, que votre Délégué vous exposât, en les résumant, les caractères principaux de ces débats et ses appréciations personnelles. Tel est le but du présent rapport.

Réunion et constitution de la Commission. — Conformément à ce qui était convenu, les Délégués des sept Puissances signataires du traité de Berlin se sont trouvés réunis à Silistrie dans l'après-midi du 26 octobre, et la première séance de la Commission technique a eu lieu le 27, dans une salle mise à sa disposition par les autorités bulgares, pour toute la durée de ses travaux. A l'exception de la France, toutes les puissances se sont fait représenter par des ingénieurs militaires, dont deux généraux (Russie et Turquie), un colonel (Autriche-Hongrie), deux majors (Allemagne et Italie), un capitaine (Grande-Bretagne). La Grande-Bretagne, la Russie et la Turquie avaient donné un aide à leur Délégué en titre ; ces auxiliaires ont pris une part active aux travaux de la Commission et l'un d'eux, M. l'ingénieur Karischeff, a représenté seul la Russie pendant la première séance, en l'absence de M. le général Struve, qui, tardivement averti, n'est arrivé à Silistrie que dans la soirée du 27 octobre. Les votes de la Commission n'ont d'ailleurs jamais été émis et les procès-verbaux des séances n'ont été signés que par un seul Délégué pour chaque Puissance.

Les pouvoirs ayant été d'abord échangés et reconnus réguliers, la Commission a procédé immédiatement à la constitution de son bureau.

Elle a conféré la présidence au Délégué français, sans procéder à aucun scrutin, contrairement à ce que demandait celui qui était l'objet de cette distinction. Le secrétariat a été formé dans le sein même de la Commission; M. le colonel Jaeger, délégué d'Autriche-Hongrie, en a accepté la direction, en prenant pour aide M. Gabriel Effendi Noradounghian, adjoint au Commissaire Ottoman, et M. le lieutenant Caillard, adjoint au Commissaire de la Grande-Bretagne. Cette organisation a permis à la Commission de délibérer sans la présence d'aucun élément étranger, et par conséquent d'assurer à ses débats le secret que tous les membres s'étaient promis et que leur imposait d'ailleurs la nature de leurs fonctions. C'est à Bucarest seulement, lorsque les débats touchaient à leur terme, et qu'il s'agissait de reproduire, par la voie de l'impression, tous les actes de la Commission, qu'on a dû recourir à un employé spécial pour l'écriture autographique. Cet employé, de nationalité française, n'a pas trompé la confiance que la Commission avait eue en lui; les versions contradictoires qui ont circulé sur nos conclusions, longtemps encore après que nos opérations étaient closes, sont une preuve certaine de la discrétion qui les a entourées jusqu'au dernier moment.

Règlement des conditions d'admission de représentants de la Roumanie et de la Bulgarie.— La plupart des membres de la Commission, surtout ceux qui avaient traversé Bucarest pour se rendre à Silistrie, avaient été avertis officieusement que le Gouvernement roumain se ferait représenter auprès d'elle, et le trajet de Bucharest à Silistrie s'étant opéré par les moyens de transport qu'avait organisés ce Gouvernement et sous l'escorte même de ses

Délégués, par le seul fait de leur présence, et surtout en ayant égard à ce qui s'était passé l'année précédente au sein de la Commission de délimitation, nous nous trouvions saisis de la question de leur admission. Leur désir nettement exprimé était d'assister à nos séances et de prendre part à nos débats, sans pourtant prétendre à voix délibérative. Nous avons reconnu qu'il était équitable, pour les mettre à même d'éclairer les points douteux et de parler en connaissance de cause, de les admettre, soit à entendre dans le sein de la Commission les opinions au sujet desquelles ils pourraient avoir des observatious à présenter, soit à suivre nos explorations sur le Danube et sur les bords du fleuve. Mais il est demeuré bien entendu qu'ils ne pourraient prendre aucune part aux délibérations pas plus qu'aux votes de la Commission.

Lorsque le Commissaire russe proposa pour la première fois l'admission de Délégués bulgares au même titre et avec les mêmes droits que les Délégués roumains, la majorité de la Commission technique se prononça d'abord pour la négative, en ayant égard aux antécédents créés par la Commission de délimitation, et à la situation de la Bulgarie, qui, placée sous la suzeraineté du Sultan, avait pour organe naturel le Délégué de la Sublime Porte, situation qui n'est, par conséquent, en rien comparable à celle de la Roumanie, devenue principauté souveraine et complètement affranchie de tout lien de vassalité. Mais les Puissances ayant successivement accédé au vœu exprimé par le Gouvernement russe, la Commission, en vertu des instructions nouvelles adressées à ses membres, a dû admettre les Délégués bulgares et les placer sur le même pied que les Délégués roumains. Par esprit de conciliation et par déférence pour le Délégué russe, qui, dès la seconde séance, avait annoncé que les ouvertures de son Gouvernement avaient été favorablement accueillies, la Commission avait admis les représentants de la Bulgarie à

suivre à titre officieux les explorations entre la seconde et la troisième séance.

Les pouvoirs produits par les uns et par les autres l'ont d'ailleurs été sous une forme régulière, ou du moins ont été régularisés depuis lors. Mais il n'a pas paru que l'on dût admettre les Délégués spéciaux de Silistrie et d'un village voisin (Almali). On s'est borné à insérer, parmi les annexes des procès-verbaux, l'adresse présentée par la ville. La Commission de délimitation avait traité moins favorablement, l'année dernière, une pétition du même genre. Elle s'était déclarée incompétente et avait renvoyé la pièce au préfet de Silistrie, avec une lettre exprimant les regrets de la Commission de ne pouvoir l'admettre.

Position des questions à résoudre. — Dès la première réunion, il a été facile de constater qu'il existait dans la teneur littérale, sinon dans le sens des instructions données aux différents membres de la Commission, certaines différences qui laissaient des doutes, dans l'esprit de quelques-uns, sur la manière dont les débats devaient être engagés. Un membre avait posé la question très simple : « Quelle est l'étendue de la tâche confiée à la Commission ? En d'autres termes, cette tâche consiste-t-elle à fixer quel doit être, à l'Est de Silistrie, le point de départ de la frontière de Roumanie ; ou doit-elle se borner à chercher le meilleur emplacement pour la construction d'un pont sur le Danube, dans le voisinage et à l'Est de Silistrie ? »

Une assez longue discussion avait pris naissance à ce sujet, et les divergences d'opinions avaient même paru s'accentuer au point que plusieurs membres avaient proposé d'en référer aux Gouvernements.

Conformément aux instructions rappelées plus haut, le Délégué français a fait ses efforts pour éviter ces atermoiements qui auraient pu allonger les débats outre mesure

(page 14) (*). Heureusement, on a fini par tomber d'accord sur la convenance de commencer par chercher l'emplacement le plus favorable pour la construction du pont, sans faire entrer en ligne de compte les considérations stratégiques. Une fois engagée dans cette voie, la Commission ne s'en est pas départie ; et elle a pu, sans suspendre ses travaux, les poursuivre jusqu'aux termes où il lui a été permis de recueillir les avis motivés de tous ses membres.

Le représentant de la Russie avait tout d'abord déclaré (page 13) que le choix de l'emplacement devait être absolument et purement technique, et que tout autre ordre d'idées devait être écarté. Revenant sur ce même sujet, il annonçait ensuite qu'aux termes de ses instructions, il n'aurait même pas à discuter le cas où le point de passage serait à Silistrie même (page 32), et que les considérations commerciales, politiques ou militaires devaient être exclues du programme et n'exercer aucune influence sur l'opinion purement technique de la Commission (p. 38). Il répétait encore, au moment de la clôture des débats, qu'il n'avait consenti à suivre la Commission dans l'examen comparatif des différents projets, que dans le désir d'aboutir à une entente sur la question envisagée à ce point de vue restreint (page 85).

Le principe posé par M. le général Struve n'a pas été combattu ; seulement la majorité de la Commission a donné à l'examen technique de la question pendante une extension et une portée conformes à la nature des choses et qui se justifient d'elles-mêmes, lorsqu'on veut bien considérer qu'un grand pont à établir sur un fleuve et les chaussées destinées à le relier aux deux rives, à travers une vaste plaine submersible, constituent un seul et même tout insé-

---

(*) Les renvois de ce genre indiquent les pages des actes de la Commission et des pièces annexes, aux différents passages du livre jaune qui les renferme tous et sur lesquels on a cru devoir plus particulièrement attirer l'attention.

parable pour les populations que la communication nouvelle est appelée à desservir. Mais il y a lieu d'insister sur l'extrême réserve avec laquelle tous les membres de la Commission se sont abstenus de porter la discussion sur un terrain étranger à la technie.

Elle a reçu des représentants de la Bulgarie comme de la Roumanie des mémoires où les considérations politiques, militaires ou commerciales sont abordées de front ; elle s'est bornée à admettre la reproduction textuelle de ces pièces pour en livrer l'examen à qui de droit, sans sortir un instant du rôle qui lui était assigné.

Absence d'études préliminaires pour la solution de la question technique. — On pouvait croire, d'après les motifs mêmes du nouvel accord intervenu entre les Puissances signataires du traité de Berlin, qu'en arrivant à Silistrie pour prendre part à la démonstration qui leur était annoncée, les Délégués se trouveraient en présence de documents de nature à les éclairer et à faire ressortir les résultats d'études entreprises à l'appui de cette démonstration. Or, à peine réunie, la Commission a reconnu que l'on n'était en mesure de lui présenter aucun travail pouvant fournir des bases précises à l'établissement d'un projet (page 9). Dans une seconde séance, il est vrai, MM. les Délégués russes ont mis sous ses yeux des croquis et des cartes, mais fort incomplets et dressés à une trop petite échelle pour être employés utilement. Plus tard encore, avec un zèle dont la Commission les a remerciés (page 33), ces Messieurs se sont livrés à de nouvelles opérations sur le terrain, contradictoirement avec les ingénieurs roumains, et ils ont pu mettre à notre disposition des plans et quelques profils autographiés. Mais ces pièces n'ont pas paru de nature à figurer dans nos actes avec un caractère authentique. Il était donc inutile de les reproduire complètement ici. Vous avez jugé suffisant, Monsieur

le Ministre, de joindre à ce rapport, avec un plan des abords de Silistrie dressé par la Commission de délimitation de la frontière roumano-bulgare, en 1878, un extrait de la belle carte de Roumanie établie par l'État-Major autrichien, lors de l'occupation des principautés en 1855. On a marqué sur cette dernière les différents emplacements proposés, pendant le cours de nos débats, pour le passage du Danube.

Lorsqu'on procède à l'étude, même sommaire, d'une traversée de fleuve, ce n'est pas seulement à un levé de la surface du sol et des eaux que les opérations sur le terrain peuvent se borner. Des sondages doivent être pratiqués dans le fleuve, pour en déterminer les profondeurs suivant les directions diverses que l'on étudie; ils doivent pénétrer au-dessous du lit, pour faire connaître la nature des différentes couches qui séparent ce lit du terrain solide sur lequel les fondations seront assises. Rien de semblable n'avait été préparé avant la réunion de la Commission. Or, des opérations de ce genre exigent des appareils et des instruments spéciaux, des installations particulières d'une certaine fixité au milieu des eaux ; et lorsqu'il s'agit d'un fleuve tel que le Danube, dont la largeur en ces parages excède 1 kilomètre, dont la profondeur à l'étiage dépasse 8 à 10 mètres au thalweg, où des crues assez brusques se produisent souvent, dont le courant est rapide, qui est sujet à une congélation parfois très hâtive sous l'influence de froids subits, à l'arrière-saison, on conçoit que la Commission n'ait pas cru pouvoir suppléer en temps opportun aux études préliminaires qui lui faisaient défaut. Cependant elle a reconnu, surtout après avoir consacré trois jours aux explorations sur le terrain dans diverses directions, sur le cours même et sur les deux rives du fleuve, que si les données lui manquaient pour faire une évaluation tant soit peu précise des dépenses de construction sur chacun des emplacements proposés, elle en pos-

sédait assez pour apprécier la valeur relative de ces différentes solutions (page 84). Elle a d'ailleurs fait observer que MM. les Délégués russes eux-mêmes (pages 9 et 31) ont été les premiers à annoncer que les explorations et les levés faits étaient plus que suffisants pour se former une opinion sur les projets en présence. M. le général Struve a même émis l'opinion que les sondages n'étaient pas nécessaires (page 31).

Je ne puis me ranger à l'opinion de l'honorable général en ce point, la nature et l'épaisseur des terrains à traverser jusqu'au fond solide me paraissant des éléments de la plus grande importance. Cependant, tout en regrettant vivement d'être obligé d'émettre un avis avec une insuffisance de données à laquelle nous sommes si peu habitués, je n'ai pas hésité à partager le sentiment unanime de la Commission et à chercher la meilleure solution par voie de comparaison, en ne portant en ligne de compte que les éléments connus, et en faisant, par conséquent, abstraction complète des sondages. En d'autres termes, nous avons tous admis implicitement que les sondages donneraient des résultats analogues suivant les différentes directions projetées, ce qui n'a rien d'impossible, ce qui paraît même assez vraisemblable, eu égard à l'homogénéité des terrains à travers lesquels le lit du fleuve est ouvert dans ces parages, quoique nous n'ayons aucune certitude absolue à ce sujet.

Description sommaire du fleuve et de la vallée du Danube aux environs de Silistrie. — Après avoir suivi, entre l'ancienne principauté de Valachie et la Bulgarie, qu'il sépare l'une de l'autre, une direction curviligne dont la convexité est tournée au Sud et dont la flèche est à peu près orientée de l'Ouest à l'Est entre le défilé des Portes de Fer et Silistrie, le Danube continue à couler de là vers le Nord jusqu'à Braïla et Galatz, pour se jeter enfin dans la mer Noire par un brusque retour vers l'Est. Réduit à un seul bras entre

Olténitza et Tourtoukai, passage devenu célèbre par la hardiesse avec laquelle les Turcs ont su le franchir en 1853, il n'a pas là moins de 700 mètres de largeur à l'étiage. En un point situé à 1 250 kilomètres plus haut, réduit pareillement à un bras unique entre les lignes de quai de Pest et de Bude, il a déjà plus de 400 mètres, et c'est entre ces deux villes, dont la réunion forme actuellement la métropole de la Hongrie, sous l'appellation *Buda-pest*, qu'ont été édifiés les derniers ponts permanents à travers le fleuve. A partir de Silistrie, la vallée, qui déjà, en plusieurs parties de son développement, n'offre, à perte de vue, que de vastes marécages sillonnés par des bras multiples, prend le caractère prononcé d'un delta. Au droit de Silistrie, le bras unique qui baigne les murs de cette ville va en s'élargissant, et bientôt un nouveau bras se détache vers la gauche, formant, sous le nom de *Bortchia*, comme une rivière distincte qui ne vient de nouveau se réunir au grand Danube qu'à 120 kilomètres plus bas, près d'Hirsova. Mais là d'autres branches se détachent encore du lit principal. Alors même qu'elles y ont rapporté leurs eaux, au grand profit de la navigation maritime, qui trouve de beaux mouillages à Braïla et à Galatz, le delta ne tarde pas à se reformer et va toujours en s'élargissant jusqu'à la mer Noire, où les eaux se déversent par une multitude d'embouchures. La largeur au droit de Silistrie même n'excède pas 1 100 mètres; un peu à l'aval (à l'Est) de cette ville, avant l'origine de la Bortchia, elle n'est encore que d'environ 1 200 mètres à l'étiage. Mais à l'époque des hautes eaux, le fleuve s'étend sur plus de 8 kilomètres entre les coteaux qui limitent de part et d'autre le champ des inondations. La largeur totale inondée est d'environ 1 kilomètre moindre au droit du village de Tchioroï, situé sur la rive gauche de la Bortchia, à 12 kilomètres au-dessous de Calarache, et, suivant cette direction, le Danube paraît avoir aussi, dans son lit mineur, une centaine de

mètres de moins qu'à l'aval de Silistrie. C'est entre les deux tracés, l'un par Calarache, l'autre par Tchioroï, représentés sur la carte (Pl. 30), qu'a porté le principal débat au sein de la Commission, la troisième solution par Siocaritchiou et la rive gauche du lac d'Oltina, pareillement représentée, n'ayant pas été soutenue par ceux-là mêmes qui l'avaient indiquée. Cependant, à en juger par la carte, la jonction des deux rives insubmersibles n'exigerait pas, suivant cette troisième direction, plus de 7 kilomètres de développement, et le Danube n'a guère là que 900 mètres de largeur. La distance entre les points extrêmes et la largeur du lit principal du fleuve ne sont donc que des éléments secondaires dans le choix de l'emplacement à adopter, puisque, de l'aveu des promoteurs des solutions nouvelles, le tracé Siocaritchiou-Oltina, qui est le plus court, ne peut soutenir la comparaison avec le tracé par Tchioroï.

Ce qui ressort de nos explorations dans ces parages plus encore que de l'examen de cartes et de plans de l'exactitude desquels on ne peut répondre, c'est que le problème implicitement posé par le Congrès de Berlin est un des plus difficiles que l'art de l'ingénieur ait à résoudre, malgré les ressources de la science moderne. L'immensité de la nappe, même en étiage, les limites lointaines jusqu'auxquelles on sait qu'elle peut s'étendre, la rapidité du courant, la nature sauvage ou majestueuse des sites, les nombreux bâtiments qui naviguent avec la vapeur ou le vent, l'aspect, en un mot, de ce magnifique cours d'eau, le plus puissant et le plus important des fleuves européens, sinon celui qui présente le plus long développement, les souvenirs historiques qui s'y rattachent, tout cet ensemble à l'influence duquel nul visiteur ne saurait se dérober est bien en harmonie avec l'étendue des difficultés à vaincre, avec la grandeur des ouvrages qu'il faudrait établir pour assurer un passage permanent à la traversée du Danube.

Profondeur possible des fondations du nouveau pont à établir et indication des procédés à employer pour en assurer l'exécution. — En présence de ces difficultés, il est naturel de poser une question préjudicielle en demandant si elles sont de nature à être vaincues. Le doute est permis, lorsque l'on considère des profondeurs de 10 à 12 mètres au-dessous de l'étiage, des hautes eaux de très longue durée qui peuvent surmonter de 7 à 8 mètres le niveau le plus bas, l'épaisseur considérable des couches sans consistance qui, au-dessous du lit, descendent jusqu'à un fond plus solide dont la position est inconnue. On peut donc prévoir qu'en certains points les supports fixes du pont projeté devront être assis de 30 à 36 mètres au-dessous de la surface du fleuve. Des profondeurs aussi grandes ont été atteintes, dans des cas très rares, mais elles n'ont encore été dépassées qu'une seule fois, à notre connaissance. Si elles devaient l'être, il faudrait certainement avoir recours à des procédés différents de celui qui consiste à travailler à sec dans l'intérieur d'un tube ou d'un caisson métallique sans fond, où la compression de l'air déterminée par des machines puissantes refoule à l'extérieur l'eau qui tend à envahir la chambre de travail. Cette question des fondations est si importante pour le cas spécial sur lequel la Commission technique a été consultée, qu'il est nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques développements que motivent suffisamment les études de la Commission et les avis émis par quelques-uns de ses membres.

C'est au génie de notre infortuné compatriote Denis Papin, de Blois, qu'est due la conception première du procédé employé depuis trente ans avec tant de succès pour asseoir à sec, sur le fond solide et sous de grandes profondeurs d'eau, les fondations des ouvrages. Victime de la révocation de l'édit de Nantes, c'est à l'étranger que Papin publia successivement ces écrits et mit à exécution ces modèles et ces appareils qui doivent assurer à son nom

l'immortalité. Dès le mois de septembre 1689, il faisait connaître cette invention remarquable par un article intitulé : « De instrumentis ad flammam sub aquâ conservandam », inséré aux *Acta eruditorum* de Leipzig, article reproduit en français d'abord dans le dernier volume de la *Bibliothèque universelle*, publié par Jean Le Clerc, pour 1691, sous le titre : « Manière de conserver la flamme sous l'eau, inventée par M. Papin, professeur de mathématiques à Marbourg », et plus tard, en 1695, dans un volume paru à la fois en français, à Cassel, sous le titre : *Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines*, et en latin, à Marbourg : *Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis*. Dans chacun de ces recueils on trouve la même description d'une modification importante de la cloche à plongeur, consistant à y insuffler constamment de l'air frais par un tuyau qui passe en dessous et aboutit vers le haut à l'intérieur. « La cloche demeurant toujours vide, « dit Papin, et la faisant appuyer tout à fait à terre, le « fond de l'eau à cet endroit demeurerait presque à sec, « et l'on pourrait y travailler de même que hors de l'eau, « et je ne doute pas que cela ne pût épargner beaucoup de « dépense quand on veut bâtir sous l'eau (*). »

(*) La cloche à plongeur a été connue dès l'antiquité. Aristote en parle comme d'un appareil usité de son temps (*Problèmes*, section XXXII, question 5); Halley, vers 1716, employa pour le renouvellement de l'air des barils lestés de manière à descendre à la portée des hommes placés sous la cloche. Ce fut seulement en 1788 que Smetaon utilisa l'idée de Papin en faisant arriver l'air au moyen d'un tuyau flexible communiquant avec une pompe foulante installée sur un bateau. Cette belle idée figure donc à bon droit parmi celles dont s'est emparée l'industrie contemporaine, dans l'énumération que donne l'ouvrage publié en 1869 par MM. L. de la Saussaye et A. Péan, tous deux Blésois, véritable monument élevé à la mémoire de leur illustre compatriote, sous le titre : *La vie et les ouvrages de Denis Papin*. Cependant la première mention qui ait été faite de la liaison entre l'invention de Papin et celle de Triger se trouve, à notre connaissance, aux *Annales des*

Si l'idée de travailler à sec sous une épaisse nappe d'eau, en utilisant la compression de l'air au refoulement du liquide et son renouvellement pour entretenir la respiration et la flamme des lampes est due au fécond génie de Papin, un siècle et demi devait s'écouler avant qu'un autre Français, Triger, tirât de cette conception première, au moyen de la belle invention du sas à air, son développement le plus important. Ce fut seulement en 1839 que cet ingénieur appliqua pour la première fois son procédé au creusement d'un puits de 25 mètres de profondeur à travers des sables mouvants, dans une île de la Loire, près de Chalonnes, pour atteindre le terrain houiller inférieur. Triger communiquait à l'Académie des sciences, dans sa séance du 25 octobre 1841, la description de l'appareil dont il faisait usage, et les détails de l'opération qui avait eu un succès complet. Il annonçait dès lors que plusieurs puits allaient être forés, par le procédé qu'il avait imaginé et mis en œuvre, dans les terrains aquifères supérieurs au terrain houiller du département du Nord et de la Belgique, et indiquait les applications heureuses qu'on pourrait en faire à la construction des ponts. Toutes les prévisions de l'inventeur ont été réalisées. Dès 1851, au moment même où la première exposition universelle réunissait à Londres

---

ponts et chaussées, 2e sem. de 1867, p. 118, où l'on cite, à ce sujet, un mémoire de M. Trouessard, professeur de physique à Angers.

François Arago, l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, est celui qui a le plus contribué à tirer de l'oubli la mémoire de Denis Papin par la publication des belles notices sur l'histoire des machines à vapeur (*Annuaire des longitudes* de 1829, de 1830, de 1837 et de 1839). Né en 1647, mort dans l'oubli et dans un affreux dénuement, en Allemagne, vers 1715, Papin peut être considéré comme le véritable inventeur de la machine à vapeur à piston et à cylindre, et de son application à la navigation et à la locomotion terrestre; c'est à lui qu'on doit la soupape de sûreté, le robinet à quatre fins (sorte de tiroir), l'idée de la condensation, de l'emploi de la haute pression, le tube atmosphérique, des foyers fumivores, etc.

tant de merveilles dans le Palais de Cristal, beaucoup d'ingénieurs étaient à même de visiter les fondations tubulaires du pont de Rochester, sur le Medway (Kent, à 44 kilomètres à l'Est de Londres), en cours d'exécution par l'emploi pur et simple du procédé Triger. Ce fut l'année suivante, dans la séance publique annuelle, le 20 décembre 1852, que l'Académie décerna à Triger le prix de mécanique de la fondation Montyon (*). Géologue distingué, naturaliste, esprit ouvert à toutes les sciences, aussi modeste qu'il était sa-

---

(*) Ne pouvant faire ici un historique complet des progrès successifs de l'art d'exécuter des travaux à sec sous l'eau, nous renvoyons au rapport remarquable sur les travaux publics rédigé au nom du jury mixte de l'Exposition universelle de 1856, 14e classe (Imp. imp., 1856). Mais nous devons une mention particulière au bateau plongeur dont la conception première avait été indiquée par Coulomb en 1779, sous le titre : *Recherches sur les moyens d'exécuter sous l'eau toutes sortes de travaux hydrauliques sans employer aucun épuisement*. Ce développement ingénieux de l'idée de Papin n'avait eu aucune suite, lorsque M. l'inspecteur général de ponts et chaussées de la Gournerie, alors ingénieur ordinaire, l'appliqua en 1846 à des travaux de maçonnerie et d'extraction des roches dans le port du Croisic. Pour la réaliser sur une grande échelle, dans des circonstances difficiles et pour un bateau destiné à recevoir jusqu'à seize ouvriers, M. de la Gournerie a dû vaincre, par un heureux emploi des ressources de la science et de l'industrie, tous les obstacles qui séparent la conception d'une idée de son exécution.

Son mémoire, auquel l'Académie avait accordé l'honneur de l'insertion dans le *Recueil des savants étrangers* (*Comptes rendus*, 1847, t. XXIV, p. 773), a été publié dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1er sem. de 1848, et a obtenu l'une des médailles d'or décernées chaque année par le suffrage des ingénieurs aux auteurs des meilleurs travaux. La mobilité d'un appareil de ce genre en rendrait l'emploi très utile dans certains cas où il n'est pas possible d'obstruer un chenal par les installations fixes qu'exigent les appareils tubulaires.

Nous mentionnerons aussi le beau mémoire de M. Malézieux *sur les fondations à l'air comprimé*, publié dans le 1er sem. de 1874 des *Annales des ponts et chaussées*, écrit où les progrès successifs de l'art sont décrits avec soin et rattachés à l'idée première de Papin, signalée pour la première fois aux lecteurs des *Annales* par feu M. Romany, alors ingénieur en chef.

vant, Triger est mort obscurément à Paris, le 16 décembre 1867. Il était né à Mamers (Sarthe), le 11 mars 1801.

Nombre d'applications du système des fondations par l'air comprimé, tubulaires ou en caissons, ont été faites depuis la reconstruction du pont de Rochester, par M. Hughes. Les noms de Brunel au pont de Saltash, de l'ingénieur des ponts et chaussées Fleur Saint-Denis et de Castor au pont de Kehl, d'Eads au pont de Saint-Louis (Missouri), de Roebling à New-York (East River bridge) résument le développement progressif de cette branche importante de l'art des constructions. Il n'est que juste d'ajouter qu'un perfectionnement essentiel introduit à Saint-Louis, l'établissement à demeure des écluses à air dans la chambre de travail au contact du fond, était projeté en 1869 et exécuté en 1870, c'est-à-dire à la même époque, au pont de Collonges, par M. l'ingénieur des ponts et chaussées Sadi Carnot et par l'entrepreneur M. Masson, sous la direction de M. l'inspecteur général Collet-Meygret, alors ingénieur en chef du département de la Haute-Savoie.

En résumé, sous des formes diverses et avec des perfectionnements successifs, le procédé imaginé par Denis Papin et complété par Triger a été, depuis trente ans, usité dans le monde entier, et il constitue l'un des moyens d'exécution les plus remarquables qui aient été employés dans les constructions hydrauliques. Mais on ne peut l'appliquer à toute profondeur à cause des inconvénients graves et même des dangers qui résultent pour l'organisme humain d'une variation considérable dans la pression atmosphérique à laquelle il est soumis, lorsque l'ouvrier descend de la surface extérieure au fond du caisson, et surtout lorsqu'il remonte en suivant le même chemin en sens contraire. La plus grande profondeur au-dessous du niveau de l'eau à laquelle on soit descendu à l'aide de l'air comprimé n'était encore en 1876 que 33 mètres et elle avait été atteinte au pont de Saint-Louis sur le Mississipi. Elle s'est élevée jus-

qu'à 36 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la construction des piles du pont de 353 mètres de longueur exécuté en 1876 au compte du Gouvernement danois, par la Compagnie française de Fives-Lille, pour la traversée, par un chemin de fer, d'un bras de mer, le Lümfjord. La pression à laquelle les ouvriers étaient soumis dans la chambre de travail n'était guère inférieure à cinq atmosphères, la plus forte à laquelle il soit possible de résister. La difficulté du travail était augmentée par la présence des gaz explosibles qui se dégageaient parfois de la couche épaisse de vase molle du fond, dans laquelle se trouvaient beaucoup de végétaux en décomposition.

La fondation des points d'appui d'un pont sur le Danube aux abords de Silistrie se présentera peut-être dans des conditions analogues, et plus difficiles encore, pour peu que la profondeur soit plus grande. On devra recourir alors au mode de fondation par caissons cloisonnés, qui a été employé avec succès en Amérique pour la construction des piles de Poughkeepsie (1876-1878), sur l'Hudson, à 120 kilomètres en amont de New-York. Chaque caisson était divisé à sa partie inférieure par des cloisons longitudinales et transversales en chambres, dont une partie restait ouverte pour l'extraction des déblais, les autres contenant une charge de béton suffisante pour déterminer l'immersion du caisson. L'enfoncement progressif a été facilité par la forme en biseau armé de fer qu'on avait donnée à la partie inférieure des cloisons longitudinales et des bords du caisson. Les cloisons transversales qui les relient commencent seulement 1^{m},20 plus haut.

L'extraction des déblais dans les chambres vides de 3^{m},60 en carré s'est faite au moyen de dragues à mâchoires.

Le remplissage en béton a été opéré jusqu'à 6 mètres en contre-bas du niveau des basses eaux; il a été surmonté par de la maçonnerie ordinaire composant le corps des piles et des culées, qui a été édifié à l'abri du batardeau formé

par la partie supérieure du caisson. On a pu, de la sorte, asseoir les fondations à une profondeur qui, pour l'une des piles, n'a pas été de moins de 37m,20 au-dessous de la basse mer et de 38m,80 au-dessous de la mer dans son plein. On voit d'ailleurs que par ce procédé on pourrait descendre plus bas encore; mais cela suppose que le terrain dans lequel on opère peut être dragué facilement, qu'il ne renferme pas de gros blocs de pierre susceptibles d'arrêter la descente du caisson, et qu'enfin les arêtes inférieures du caisson reposeront sur une couche sensiblement horizontale (*).

La nature du fond du Danube, aux abords de Silistrie, paraît satisfaire aux conditions qui viennent d'être indiquées pour l'emploi du procédé américain, si la trop grande épaisseur des couches molles, au-dessus du fond solide, force à y recourir.

Ponts construits par les Romains sur le bas Danube. — Les difficultés de construction qui précèdent avaient été sinon résolues, du moins habilement tournées par les Romains, qui, pour combattre et réduire les Daces, sentirent la nécessité d'établir une communication permanente entre les deux rives du Danube. Les ruines du pont de Trajan existent encore, et pendant les basses eaux les assises inférieures des piles actuellement dérasées sont très apparentes, à 10 kilomètres environ au-dessous de la dernière cataracte des Portes de fer, à 21 kilomètres à l'aval d'Orsova, presque en face de Tourno-Severino. Dans une partie de son cours où le fleuve est réduit à un seul bras, s'élevait un pont en charpente dont les travées en plein cintre, composées de trois cours d'arcs superposés et entretoisés,

(*) *Les chemins de fer en Amérique*, par M. E. Lavoinne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et E. Pontzen, ingénieur, ancien élève de l'École des ponts et chaussées, t. I, p. 287. Paris, Dunod, 1880.

avaient près de 36 mètres d'ouverture et reposaient sur deux culées et sur vingt piles en maçonnerie, distantes de 54 mètres d'axe en axe, ce qui donnait pour l'ouverture du pont, vides et pleins compris 1 134 mètres. Des forteresses gardaient chacune des deux têtes. Le lieu du passage avait été choisi avec une rare sagacité, en dehors des cataractes, là où le courant est tranquille, et où l'étendue de la plaine permet au fleuve de s'étendre en largeur sans trop creuser son lit. La plus grande profondeur n'y est, à l'étiage, que d'environ 6 mètres. Le fond est d'un sable graveleux assez solide pour porter le poids des maçonneries. La description que Dion Cassius a faite de l'ouvrage est empreinte d'une exagération manifeste. La hauteur des piles aurait été de 150 pieds romains, soit de 45 mètres, ce qui n'avait aucune raison d'être; et des arches, maçonnées en plein cintre, réunissaient, suivant lui, les piles distantes de 54 mètres d'axe en axe, ce qui serait, même de nos jours, un prodige de construction. Les bas-reliefs de la colonne Trajane et plusieurs médailles de bronze frappées sous le règne de Trajan donnent à cette description un démenti complet (*). Les arches qui y sont figurées sont en charpente, composées d'un triple cours de pièces cintrées concentriquement et dont l'équidistance est maintenue par des moises convergeant vers le centre, système ingénieux,

---

(*) Détails empruntés à la magnifique publication de M. W. Froehner, *La colonne Trajane d'après le surmoulage exécuté à Rome en* 1861 *et* 1862, etc. Paris, Rothschild, in-folio.

On s'étonne qu'un ingénieur aussi expérimenté que Gauthey ait admis sans critique l'existence de voûtes maçonnées de 55 mètres d'ouverture à la traversée du Danube (*Traité de la construction des ponts*, Paris, 1809, t. I, p. 20.) Gautier, dans son *Traité des ponts*, publié en 1714, près d'un siècle avant celui de Gauthey, n'avait du moins donné ces fabuleuses dimensions qu'avec une expression de doute. « Les dimensions d'un pareil ouvrage » dit-il, « sont presque au-dessus de toutes les idées des architectes d'aujourd'hui, s'il est vrai qu'elles aient été ainsi. »

souvent employé par les modernes, et dont l'œuvre d'art qui nous en donne l'image met en évidence les dispositions heureuses, sauf en quelques détails où l'artiste a probablement altéré les formes que le célèbre Apollodore de Damas, l'architecte de la colonne, avait données au pont dont il avait aussi été l'ingénieur.

La colonne Trajane n'est pas le seul monument par lequel les Romains nous aient transmis le souvenir de leurs conquêtes et de leurs travaux dans ces parages. A 12 kilomètres environ à l'amont d'Orsova, dans la partie la plus sauvage du défilé de Drenkova, le voyageur qui suit le cours du Danube aperçoit sur la rive droite, au pied des hautes montagnes qui dominent le fleuve, une entaille pratiquée dans le rocher sur quelques décimètres de largeur, formant une banquette qui se dégage parfois du milieu des broussailles et des ronces, et se maintient à un même niveau, supérieure à celui des crues ordinaires; puis tout à coup une grande pierre incrustée dans la paroi verticale du rocher apparaît entre des figures sculptées au-dessus de ces restes de l'ancien chemin qui aboutissait à la tête du pont du côté de la Mésie, et sur cette pierre on entrevoit une longue inscription constatant que « Trajan, fils (adoptif) de l'empereur le divin Nerva, a ouvert cette route à travers le fleuve et la montagne domptés... »

L'impression que produit cette trace de la puissance romaine dans ces parages lointains est saisissante. Elle a été ressentie par tous ceux qui les ont visités avant les transformations politiques que les deux guerres d'Orient de 1854 et de 1875 y ont introduites (*); elle ne paraît pas devoir s'amoindrir quand on a vu, de la semence féconde que la

---

(*) Saint-Marc Girardin, *Souvenirs de voyages et d'études*. Paris, Amyot, 1853, t. I, in-12; *L'Athenæum français*, 3e année, 1854, p. 164; Victor Duruy, *Histoire des Romains*, Paris, Hachette, 1879, t. IV.

conquête et la civilisation avaient jetée dans ces parages, surgir, après dix-huit siècles, un État compacte, prompt à mettre en pratique les principes d'une sage liberté, à développer une haute culture qui, non moins que son origine, le rattache à l'Occident, faisant preuve enfin, sur les champs de bataille, des plus brillantes qualités militaires. La Roumanie est vraisemblablement appelée à renouveler, avant la fin du siècle, une œuvre technique analogue à celle que les Romains accomplissaient sous le règne de Trajan. Elle rencontrera plus de difficultés, assurément, l'emplacement voisin d'Orsova offrant des avantages qu'on ne trouve pas aux abords de Silistrie; mais elle disposera aussi des puissantes ressources que l'art moderne fournit pour les vaincre.

Je ne parlerai que pour mémoire du pont de Constantin, qui, tout entier construit en bois, n'a pas laissé les mêmes traces que le pont de Trajan. Cependant Marsigli, lors d'une exploration qu'il faisait sur le Danube en 1691, recueillit des témoignages attestant que, par de très basses eaux, on voyait encore en 1672 les parties inférieures de puissantes palées. Ce pont était entre Viddin et Nicopoli, plus près de cette dernière ville, un peu à l'Est de l'embouchure du Schyl ou Djioul, à l'Ouest de celle de l'Olto ou Alouta. Il est mentionné sur une médaille de Constantin (*).

Conditions dans lesquelles un nouveau pont peut être établi à proximité de Silistrie. — Les renseignements que j'ai obtenus depuis mon retour et dont les résultats ont été

(*) *La Hongrie et le Danube*, par M. le comte de Marsigli, avec une préface par M. Bruzen de la Martinière; la Haye, 1741, atlas grand in-folio. Ce ne fut qu'à la suite des victoires remportées par les Impériaux sur les Turcs que l'on put, vers la fin du XVIIe siècle, recueillir sur l'emplacement des ponts anciens du bas Danube des renseignements précis et des observations de nature à compléter et à vérifier les indications des anciens auteurs.

exposés précédemment sont de nature à dissiper les doutes que j'avais émis (page 80) sur la possibilité d'édifier à la frontière roumano-bulgare, aux environs de Silistrie, un pont sur le Danube; mais on entrevoit en même temps qu'une pareille œuvre, sans excéder les ressources que possède aujourd'hui l'art des constructions, exigera des dépenses et un laps de temps considérables. Les études préliminaires, qui ont fait défaut avant la réunion de la Commission technique, devront être entreprises d'abord, sur l'emplacement qui aura été choisi et aux environs, de manière à déterminer non seulement la configuration et les ondulations du relief du sol, au-dessus et au-dessous d'un certain niveau, mais encore la direction et l'intensité des courants du fleuve, variables avec la hauteur des eaux, les débits correspondants et notamment le débit maximum pour les plus grandes crues; puis, au moyen de forages opérés à la sonde, la nature des terrains qui s'étendent au-dessous soit du lit jusqu'au fond solide, gravier, glaise compacte ou rocher, soit des plaines basses et submersibles de la rive gauche, sur lesquelles on a prétendu qu'il serait impossible d'asseoir les fondations des piles d'un viaduc et même un remblai de quelque hauteur; enfin l'importance et la répartition, suivant les saisons, du mouvement de la navigation dans ces parages.

Des études de ce genre devront être complètes pour porter leurs fruits; toute épargne que l'on voudrait faire sur le temps et sur les frais qu'elles comportent pourrait donner lieu à des retards, à des mécomptes dans l'exécution et à des augmentations de dépenses d'une bien autre importance. Ces études seules permettront de décider en connaissance de cause de l'étendue du débouché total à ouvrir au passage des eaux; de la répartition de ce débouché entre plusieurs points de la zone inondable; de la solution qu'il conviendra d'adopter pour causer à la navigation le moins de gêne possible, soit par l'exhaussement des tra-

vées sous lesquelles le passage aura lieu, soit, ce qui sera de beaucoup plus économique, par la construction d'une travée mobile; de la hauteur, par conséquent, des levées aux abords, au-dessus du niveau qui assurera l'insubmersibilité des voies d'accès; des déclivités suivant lesquelles ces voies pourront remonter de part et d'autre jusqu'aux plateaux.

Motifs de la préférence à donner à l'emplacement désigné par la Commission de délimitation. — Ces conditions générales d'études préliminaires et d'exécution seront les mêmes, quel que soit le choix du point de passage. Il est certain que les terrains de la Balta, île que traverseraient les tracés à l'aval de Silistrie, quoique plus bas et plus marécageux que ceux qui sont situés au droit de Silistrie jusqu'au pied du coteau de Calarache, présentent une solidité apparente lorsque les eaux s'en sont retirées et que la dessiccation s'y est opérée. On y trouve, il est vrai, dans les parties basses, des coquilles d'eau douce (limnées et planorbes) qui indiquent un séjour prolongé d'eaux stagnantes; aux approches du fleuve, on s'égare au milieu d'une forêt de roseaux; mais les points culminants, si faible que soit leur émersion, sont couverts de ronces, genre de végétation qui exclut toute idée d'un terrain de nature à ne pouvoir supporter le poids d'un remblai. Plus élevée et moins sillonnée de thalwegs secondaires que la Balta, la plaine comprise entre Kitchiou et Calarache est aussi chaque année recouverte par les eaux, qui y séjournent assez longtemps pour que nous ayons recueilli, à $2^m,50$ environ au-dessus du sol, des quantités de petites moules suspendues par des filaments herbacés aux branches d'un bois de saules, à quelque distance à gauche de la levée qui unit ces deux points. Le seul danger que pourraient présenter ces terrains d'un côté comme de l'autre, en ce qui concerne la résistance au poids des constructions, résulterait de la présence de couches

tourbeuses au-dessous de la croûte argilo-sableuse. Mais rien ne fait soupçonner l'existence de la tourbe dans ces parages (*); tout l'espace entre les coteaux servant de lit majeur au fleuve, le séjour prolongé des eaux donne aux plaines basses, surtout dans certaines parties, l'aspect de marécages, sans que la tourbe paraisse s'y déposer nulle part.

Je ne pourrais, sans tomber dans des répétitions inutiles, reproduire tous les motifs qui ont décidé six membres de la Commission technique, sur sept, à donner la préférence à l'emplacement qu'avait désigné l'année dernière la Commission de délimitation pour l'établissement du pont destiné à réunir la Roumanie au nouveau territoire qui lui est dévolu sur la rive droite du Danube. Il me suffira de les rappeler sommairement : réunion des eaux du fleuve en un bras unique entre Silistrie et Kitchiou, ce qui est une condition bien préférable à celle qui résulte d'une bifurcation, et n'exige qu'une seule travée mobile, tandis qu'il en faudrait deux, en traversant le Danube au-dessous du point où la Bortchia s'en est détachée; nature meilleure des terrains dans cette direction; facilité d'établir des abords à déclivités adoucies; existence séculaire d'un courant commercial entre Calarache et Silistrie, courant qu'on ne saurait dévier sans porter une perturbation grave à des droits acquis, et si impérieusement marqué que s'il existe, à la rigueur, d'autres emplacements possibles pour l'établissement d'un pont fixe, il n'y en a pas d'autre où l'on puisse raisonnablement établir un service régulier par pont volant ou bac à vapeur entre les deux rives (**); dé-

(*) Les effets dus à la présence de la tourbe, alors même qu'elle est profondément enfouie sous le sol, savoir le tassement du corps du remblai et le soulèvement des terrains environnants, ont été décrits dans un intéressant mémoire de M. Croizette-Desnoyers, inspecteur général, inséré aux *Annales des ponts et chaussées*, 1er sem. 1864.

(**) Sur la ligne d'Alföld (page 67) de Grosswardeïn à Esseg, la voie de fer étant interrompue par le Danube à Gomboche-Bo-

penses très probablement moindres; conservation d'une délimitation conforme au Traité de Berlin, tandis que, par la déviation suivant Tchioroï, on imposerait réellement à l'État roumain, outre un amoindrissement notable de territoire, l'ouverture de voies nouvelles pour relier Calarache et Silistrie à l'artère principale, et par conséquent des sacrifices territoriaux et financiers exagérés, que les Puissances signataires du traité de Berlin n'ont certainement pas entendu exiger de lui.

Il ne paraît pas utile non plus de combattre certaines objections qui ont été faites contre la direction de Silistrie à Calarache par Kitchiou. Il n'y a réellement rien de fondé dans l'allégation que l'on doit donner au pont à établir sur l'émissaire du lac de Calarache un débouché qui satisfasse à des baisses subites dans le niveau du lac; car on pourra toujours soutenir, par des vannages fixes ou mobiles, le niveau à l'amont du pont et régler l'écoulement lorsque les eaux décroissent. Le débouché, au contraire, ne doit être déterminé qu'en vue de livrer passage aux eaux en temps de crue, et l'existence d'un lac servant de régulateur à l'amont est une circonstance heureuse au moins pendant une partie de la période croissante. Attribuer la langueur et la diminution du commerce de Silistrie à la proximité de la nouvelle frontière (page 11), prétendre, comme l'ont fait les Délégués bulgares, que le voisinage d'un chemin de fer qui borderait et déterminerait cette frontière, serait nuisible à la ville, n'a pas paru à la majorité de la Commission mériter plus qu'une simple mention, à cause de la

goïeva, à 30 kilomètres à l'Est d'Esseg, à 15 kilomètres à l'aval du confluent de la Drave, la traversée du fleuve se fait au moyen de deux trailles à vapeur portant chacune huit wagons. (Renseignement dû à l'obligeance de M. le colonel Jaeger, membre et secrétaire de la Commission technique internationale). Pendant longtemps on pourrait se contenter d'un pareil moyen pour les relations entre les deux rives de la Roumanie.

singularité même de cette opinion (page 73). Assurément Silistrie a beaucoup souffert de la guerre, et toutes ses ruines ne sont pas encore relevées. L'incertitude des relations entre les deux États voisins, la Bulgarie et la Roumanie, a dû prolonger cet état de souffrance; mais la fixation définitive de la frontière, le perfectionnement des voies et des moyens de transport existants, en attendant la construction d'un pont fixe qui réunira deux lignes de chemins de fer, ne pourront qu'améliorer la situation de cette ville, et probablement lui rendre plus qu'elle n'a perdu. Quant à l'inconvénient résultant de ce que la nouvelle frontière placerait sur le territoire roumain les sources qui alimentent la ville et une partie des jardins que cultivent ses habitants, il est réel et digne d'attirer l'attention. Mais l'acte qui fixera le tracé de la frontière peut renfermer à ce sujet des stipulations auxquelles les Délégués roumains ont déclaré souscrire par avance, et qui seraient de nature à donner à la Bulgarie toute satisfaction avec l'autorité d'une décision émanant des Hautes Puissances contractantes.

Observation finale. — Vous remarquerez, Monsieur le Ministre, que, suivant la teneur de vos instructions, je me suis scrupuleusement assujetti, dans l'exposé qui précède, aussi bien que pendant tout le cours des travaux de la Commission, à n'envisager que par son côté technique la question à résoudre, restant complètement étranger à toute préoccupation politique. Il n'est aucun des membres de la Commission qui n'ait usé de la même réserve. Arrivant sans parti pris, la plupart même sans aucune connaissance antérieure des lieux, nous avons apporté à l'étude des éléments qui étaient de nature à former notre opinion tous les soins compatibles avec le peu de temps que l'avancement de la saison laissait à notre disposition. Aucun nuage n'est venu obscurcir la sérénité de nos débats. Le procès-verbal de la dernière séance (pages 85 et 86) porte la trace des

sentiments que nous ont mutuellement inspirés des relations de tous les instants, des études entreprises et poursuivies de commun accord, un désir sincère de conciliation et d'entente amiable (*). Puissent les Gouvernements que nous avions l'honneur de représenter trouver dans nos actes les éléments d'un accord définitif au moins sur cette question la moins difficile à résoudre parmi celles qui sont restées en suspens depuis la conclusion du traité de Berlin!

Veuillez agréer, Monsieur le Ministre, l'hommage de mon respect. L. LALANNE.

(*) *Le Bulletin du Ministère des travaux publics* (mai 1880, p. 566), cite textuellement d'après le livre jaune des passages de ce procès-verbal auxquels le rapport fait allusion; précédent qui explique et justifie la reproduction qui va suivre :

« Les débats étant clos, M. le général Yahya Pacha prend la pa-« role, et dans l'espoir qu'il ne fait qu'exprimer le sentiment gé-« néral de la Commission, adresse des remerciements chaleureux « au Président, pour la bienveillance et l'impartialité conscien-« cieuse avec lesquelles il n'a cessé de diriger les délibérations « de la Commission. L'esprit d'équité, l'aménité de caractère dont « il a fait preuve, les bonnes relations qu'il a établies et mainte-« nues, lui ont acquis à jamais la sympathie de tous les Délégués. « Il désire que ses remerciements soient agréés par M. Lalanne, « comme un hommage rendu à sa personne.

« La Commission entière s'associe aux sentiments exprimés par « M. le Commissaire de Turquie.

« Le Président répond :

« Vous venez, Messieurs, d'ajouter à l'honneur que vous m'a-« viez déjà fait en m'appelant à vous présider, un témoignage qui « en double le prix. J'en suis profondément touché et vous en « exprime ma reconnaissance. En réalité, ma tâche a été bien « douce, grâce à l'ordre, au calme, à la sincérité qui ont régné « non seulement dans toutes nos séances, mais encore dans nos « explorations, dans ces relations de tous les jours, de tous les « instants que l'urbanité générale a rendues si agréables. Aucun « de nous n'oubliera cette vie commune, cet échange incessant « d'idées, ce désir ardent partagé par tous de mettre les Gouver-« nements que nous représentons à même de s'entendre. Vous « me permettrez d'ajouter que les fonctions qui m'ont été confiées « près de vous par le gouvernement de la République française, « et la dignité que vous m'avez conférée resteront pour moi le « plus grand honneur d'une carrière, dont le début remonte à « un demi-siècle, et qui va se terminer. »

N° 57

COMPARAISON

DE

QUELQUES DÉPENSES RELATIVES AU SERVICE DES PHARES

EN FRANCE, AUX ÉTATS-UNIS ET EN ANGLETERRE.

NOTE

Par M. Émile ALLARD, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Le bureau des phares des États-Unis vient de publier son rapport annuel, daté du 1er octobre dernier, sur les opérations qu'il a fait exécuter pour l'éclairage et le balisage des côtes pendant l'année fiscale finissant le 30 juin 1879. Ce rapport contient quelques documents statistiques qu'il peut être intéressant de recueillir et de comparer avec les renseignements analogues concernant la France.

Voici d'abord le nombre des différents ouvrages utiles à la navigation qui existaient au 1er juillet 1879 sur les côtes des États-Unis. Nous mettons en regard les nombres relatifs à la France.

	ÉTATS-UNIS.	FRANCE.
Phares des trois premiers ordres. . .	128	78
Phares des derniers ordres.	498	294
Bateaux-phares ou feux flottants. . .	31	10
Nombre total des feux. .	657	382
Bouées en place.	3 114	824
Signaux de brume.	54	4
Fanaux des rivières.	737	»

Or, le développement du littoral des États-Unis sur les deux Océans et les grands lacs peut être évalué à environ

7 500 milles marins, en le mesurant sur un polygone de 10 milles de côté. En France, le développement des côtes, mesuré de la même manière, est de 1 550 milles marins. D'après cela les nombres des phares et des bouées que possède chaque pays pour une longueur de 100 milles marins sont :

	ÉTATS-UNIS.	FRANCE.
Nombre de phares pour 100 milles marins. . .	9	25
Nombre de bouées id.	42	53

La France possède donc, pour une même longueur de littoral, près de trois fois autant de phares que les États-Unis, et le nombre de ses bouées dépasse d'un quart celui des bouées de ce dernier pays. Les signaux de brume, sont aux États-Unis plus nombreux qu'en France, ce qui tient à des conditions météorologiques particulières. Quant aux fanaux des rivières, ils éclairent le Mississipi, l'Ohio et le Missouri, dont la longueur navigable est de 3 468 milles; il n'y a en France rien de comparable, si ce n'est quelques feux sur la Gironde et la Basse Seine, qui n'ont pas été établis par le service des Phares.

Voyons maintenant quelles sont les dépenses dans les deux pays. Le budget annuel du bureau des phares aux États-Unis comprend 2 046 500 dollars pour dépenses d'entretien, et 1 275 637 dollars pour travaux neufs, ce qui fait en tout 3 322 137 dollars. En France, le budget des phares est en moyenne de 2 390 000 francs. Voici le détail de ces dépenses annuelles, traduites en francs pour les États-Unis, à raison de $5^{f},20$ par dollar :

ÉTATS-UNIS.

Entretien.

	fr.
Salaire des gardiens de phares. .	2 938 000
Approvisionnement des phares.	1 950 000
Réparation des phares.	1 560 000
Dépenses des bateaux-phares. .	1 300 000
Dépenses du balisage.	1 690 000
Dépenses des signaux de brume.	260 000
Éclairage des fleuves et objets divers	944 000
Dépense totale d'entretien. . . .	10 642 000

Travaux neufs.

	fr.
Construction de phares (au nombre de 68).	5 055 000
Travaux de balisage.	957 000
Construction de dépôts, expériences, etc.	530 000
Éclairage des fleuves.	91 000
Dépense totale des travaux neufs.	6 633 000
Dépense totale annuelle.	17 275 000

FRANCE.

Entretien.

	fr.
Dépenses spéciales de l'éclairage.	1 253 700
Dépenses d'entretien du balisage.	421 300
Dépenses du Dépôt des phares pour entretien et renouvellement des appareils.	115 000
Dépense totale d'entretien.	1 790 000

Travaux neufs.

	fr.
Travaux des phares et balises dans les départements.	490 000
Dépenses du Dépôt central pour appareils neufs.	110 000
Dépense totale des travaux neufs.	600 000
Dépense totale annuelle.	2 390 000

Les États-Unis dépensent donc chaque année plus de 17 millions pour l'éclairage et le balisage de leurs côtes; en France le même service ne coûte que 2 390 000 francs. En comparant avec l'étendue du littoral maritime les différentes sommes du tableau précédent, non compris ce qui concerne les rivières, on peut calculer la dépense faite dans chaque pays par unité de longueur :

	ÉTATS-UNIS.		FRANCE.	
	Dépense totale.	Dépense par mille marin.	Dépense totale.	Dépense par mille marin.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Dépenses de l'éclairage. . . .	7 748 000	1 033	1 368 700	883
Dépenses du balisage.	1 950 000	260	421 300	272
Dépense totale d'entretien . .	9 698 000	1 293	1 790 000	1 155
Dépense de travaux neufs. . .	6 542 000	872	600 000	387
Total général. . . .	16 240 000	2 165	2 390 000	1 542

Ainsi l'éclairage d'une même longueur de littoral coûte en France un septième de moins qu'aux États-Unis; la dépense du balisage est à peu près la même; la somme consacrée aux travaux neufs est un peu inférieure à la moitié, et la dépense totale annuelle est égale aux trois quarts de celle des États-Unis.

La France dépense donc relativement moins que les États-Unis, et cependant nous avons vu qu'elle a, pour la même longueur de côtes, un plus grand nombre d'ouvrages.

Si on compare la dépense de l'éclairage au nombre total de phares, on voit qu'un phare coûte en moyenne 3 580 fr. par an en France, et 11 790 fr. aux États-Unis, c'est-à-dire plus du triple, et cependant la proportion du nombre des grands phares au nombre total de feux ne diffère pas beaucoup dans les deux pays. La même comparaison ne peut pas se faire pour les bouées, parce que les dépenses du balisage s'appliquent, en sus des bouées, à d'autres ouvrages dont le détail n'est pas donné.

Nous trouvons dans le même rapport deux autres renseignements sur les phares des États-Unis. L'un concerne l'huile minérale, l'autre l'éclairage électrique. L'emploi de l'huile minérale n'a encore été introduit que dans une partie des fanaux de 4e et 5e ordre et dans deux bateaux feux, tandis qu'en France il n'y a plus un seul établissement qui ne soit éclairé par ce nouveau combustible dont les avantages sont considérables. Aucun phare des États-Unis n'est éclairé par l'électricité; on a seulement commencé quelques études sur les machines électriques et on les continue avec un crédit de 260 000 francs. En France et en Angleterre, l'éclairage électrique a été introduit dans plusieurs phares depuis plus de 16 ans.

Nous n'avons pas les renseignements nécessaires pour comparer les budgets annuels du service des phares en France et en Angleterre, comme nous venons de le faire

pour les États-Unis. Il est probable qu'on arriverait également à une différence notable dans les dépenses relatives. Nous pouvons seulement indiquer les chiffres suivants, qui concernent les phares électriques : les dépenses pour l'installation de l'électricité dans un phare déjà établi, se sont élevées en moyenne à 98 000 francs en France, et à 174 000 francs en Angleterre; les frais annuels d'un phare électrique sont de 11 900 francs en France, et s'élèvent en Angleterre à 24 400 francs, c'est-à-dire au double.

Voici enfin un document relatif au prix de construction des tours isolées en mer, qui constituent des ouvrages difficiles et coûteux. Les chiffres, en ce qui concerne l'Angleterre, sont extraits d'un rapport publié en 1874 par le major américain Elliot sur sa tournée dans les phares d'Europe.

NOMS des phares.	HAUTEUR.	VOLUME des maçonneries.	VOLUME par mètre de hauteur.	DÉPENSE totale.	DÉPENSE par mètre cube de maçonnerie.	DÉPENSE par mètre de hauteur
Angleterre.	mèt	mèt. cub.	mèt. cub.	fr.	fr.	fr.
Eddystone.	27.60	378	14,0	1 000 000	2 645	37 000
Bell Rock	35.50	808	22.8	1 390 500	1 721	39 170
Skerryvore	48,20	1 659	34,4	1 805 000	1 088	37 450
Bishop.	44,80	997	22.3	864 000	867	19 285
Smalls.	42,80	1 313	30,7	1 253 100	954	29 280
Hanois.	35.60	695	19,5	632 400	910	17 760
Wolf.	43,50	1 673	38,5	1 568 100	937	30 050
Totaux et moyennes	277.40	7 523	27.1	8 513 100	1 132	30 690
France.						
Cap la Hague. . . .	47,00	1 664	35,4	385 700	232	8 200
Héaux de Bréhat.	48,50	1 848	38.1	531 700	288	10 960
Haut-Banc du Nord.	29,50	569	19,3	331 000	582	11 220
Barges d'Olonne . .	27.50	826	30,0	456 000	552	16 580
La Banche.	26.50	1 225	46.2	339 200	277	12 800
La Croix.	13,35	351	26,3	145 000	413	10 860
Grand-Jardin. . . .	26.30	809	30.8	254 900	315	9 690
Pierres-Noires. . . .	25,00	937	37,5	355 000	379	14 200
Four de Brest . . .	25,00	922	36.9	300 000	325	12 000
Totaux et moyennes	268,65	9 151	34,0	3 098 500	339	11 530

Il résulte de ce tableau que les dépenses de construction

des tours isolées en mer sont bien plus élevées en Angleterre qu'en France. Soit que l'on considère le prix moyen du mètre cube de maçonnerie, soit qu'on tienne compte de ce que coûte le mètre de hauteur de tour, on reconnaît qu'en Angleterre la dépense est à peu près triple de ce qu'elle est en France.

Il faut ajouter qu'une tour commencée en France depuis 12 ans sur la roche Ar-men de la chaussée de Sein, et dont l'achèvement est prochain, présentera, au point de vue de la dépense, des résultats analogues à ceux que donnent les tours anglaises. Elle aura 33 mètres de hauteur et contiendra 922 mètres cubes de maçonnerie; elle coûtera environ 900 000 francs, de sorte que le prix du mètre cube de maçonnerie sera de 976 francs, et celui du mètre de hauteur de 27 300 francs. Ces chiffres sont peu inférieurs aux moyennes données par les tours anglaises. Mais il ne faut pas oublier que les circonstances dans lesquelles la construction dont il s'agit a été exécutée, sont tout à fait exceptionnelles, de sorte que cet exemple particulier n'est pas de nature à infirmer la conclusion générale qui précède.

Nous n'entreprendrons pas ici d'expliquer la grande différence de prix que présentent, en France et dans les deux autres pays, les travaux que nous venons d'examiner. Une partie de l'économie réalisée en France est due sans doute à la différence du prix de la main-d'œuvre, surtout en ce qui concerne la comparaison avec les États-Unis; mais il faut aussi l'attribuer à ce que, contrairement à une opinion assez répandue, les ingénieurs des ponts et chaussées apportent dans l'exécution de leurs travaux une rigoureuse économie et se gardent bien d'y introduire des dispositions de luxe qui ne contribueraient pas à l'utilité véritable de l'œuvre.

Paris, mars 1880.

N° 58

NOTE SUR LA DÉTERMINATION

A L'AIDE DE TABLEAUX GRAPIHQUES

DES SURFACES DES PROFILS DE TERRASSEMENTS

Par M. H. WILLOTTE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'emploi des méthodes graphiques pour résoudre les problèmes de construction tend à se généraliser de plus en plus. Chaque jour les méthodes nouvelles se créent ou se perfectionnent, et les progrès déjà accomplis ne font qu'appeler plus vivement sur ce sujet l'attention des ingénieurs.

Nous nous proposons, dans la présente note, d'examiner deux problèmes particuliers que l'on peut avoir à résoudre quand il s'agit d'évaluer d'une manière expéditive la surface d'un profil en travers.

Premier problème.

ÉNONCÉ. — *Supposons que, dans certaines circonstances (par exemple pour garder la trace des opérations effectuées), on veuille construire les profils en travers d'un projet de terrassement et calculer leurs surfaces en même temps; il s'agit de trouver, pour réaliser ce double résultat, une méthode aussi simple que possible.*

Une première méthode résolvant ce problème a été indiquée par M. Woyciechowski, ancien élève externe de l'École des ponts et chaussées. Le principe de cette méthode se trouve indiqué dans un numéro récent des *Annales* (août 1879). Voici un autre procédé, qui, tout en se rapprochant à certains points de vue de celui de M. Woyciechowski, conduit à des opérations purement graphiques.

Supposons que l'on ait fait graver une série de feuilles représentant les gabarits des profils usuels et portant en outre des indications dont le détail résulte de ce qui suit. (La *fig.* 1, Pl. 31 montre, à échelle réduite, ce que pourrait être l'une de ces feuilles dans le cas d'un demi-profil en remblai pour chemin de fer à une voie).

Que faut-il pour compléter le tracé des demi-profils ainsi représentés? Il est clair qu'il suffit de construire, pour chaque cas particulier, la ligne du terrain naturel. Cette dernière opération peut se faire très-simplement (voir *fig.* 2) à l'aide d'un petit rapporteur Tab, gradué suivant les tangentes trigonométriques. On vient placer cet instrument sur l'axe gradué du profil à la cote rouge et avec l'inclinaison convenable. Il ne reste plus qu'à suivre avec un tire-ligne ou un crayon le bord du rapporteur pour compléter la demi-profil TNMP.

La longueur du talus, la largeur de l'emprise se lisent immédiatement sur l'échelle inclinée représentée sur le gabarit.

Il faut enfin évaluer l'aire TNMP. Cette détermination peut se faire par le procédé suivant, qui se rattache d'ailleurs à une méthode plus générale de mesure des aires.

Si nous considérons un point A, arbitrairement choisi sur le rapporteur mobile, mais y ayant une situation, fixe ou variable, définie mathématiquement, il est clair qu'à chaque position du rapporteur le point A se trouve au-dessus d'un point déterminé du plan de la feuille du gabarit et réciproquement (la réciproque étant soumise à des cas d'indétermination faciles à éviter au moyen de conventions convenables). On pourra donc tracer à l'avance sur la feuille du gabarit une série de courbes donnant la valeur de la surface du demi-profil pour chaque position du point A, et dès lors le problème pourra être résolu par une simple lecture.

Nous avons trouvé, pour des raisons qui seront expli-

quées plus loin, que ce qu'il y avait de préférable était de prendre, dans chaque position du rapporteur, le point A en A_1, point de tangence de la ligne TN (ligne représentative du terrain naturel) et de la courbe enveloppe des droites découpant dans le demi-profil des surfaces de remblai égales à celle qui est limitée par la ligne TN.

La nature de cette courbe-enveloppe est facile à déterminer.

Pour y arriver, cherchons d'abord la position du point A_1 de tangence de la droite TN et de son enveloppe, lorsque cette droite découpe dans le demi-profil des aires équivalentes entre elles. Ce point de tangence est, comme on sait, à l'intersection de TN avec une droite T′N′, infiniment voisine de TN, choisie de manière que l'aire PMNT soit équivalente à l'aire PMN′T′, autrement dit, de façon que les deux triangles infiniment petits TA_1T', NA_1N' soient équivalents. Cette considération montre immédiatement que le point A_1 est le milieu de la droite TN.

Calculons maintenant l'équation de la courbe, lieu des points A_1, c'est-à-dire enveloppe de la droite TN, lorsque celle-ci se déplace de façon à satisfaire aux conditions ci-dessus exposées. Prenons les droites Ox, Oy pour axes de coordonnées, et soient : $OT = X$; $ON = Y$.

L'aire PMNT devant être constante, il en est de même de l'aire ONT (du moins tant que la droite NT ne rencontre pas la droite PM dans l'intérieur de l'angle xoy; le cas où cette rencontre se produirait conduit à une légère modification de la méthode, modification facile à imaginer et dont on a tenu compte d'ailleurs dans la *fig.* 1, Pl. 31).

On a :

$$\text{Aire OTN} = \frac{ON \times OT \times \sin\alpha}{2} = \frac{XY \sin\alpha}{2},$$

et par suite :

$$XY = 4K^2,$$

$4K^2$ étant une constante convenablement choisie.

Mais soient x, y les coordonnées de A_1 ; on a :

$$x = \frac{X}{2}, \quad y = \frac{Y}{2}.$$

Donc :

$$xy = \frac{XY}{4} = K^2.$$

Le lieu des points A_1 est donc une hyperbole ayant pour asymptotes les axes de coordonnées ox, oy. — Lorsqu'on fait varier la valeur de la constante K^2, on obtient une série d'hyperboles homothétiques par rapport au point O. Ce sont les différentes courbes correspondant aux diverses valeurs de l'aire du demi-profil PMNT ; on pourrait les appeler des *courbes d'égales surfaces*.

Les avantages qu'il y a à adopter le point A_1 pour point déterminant de la valeur de la surface à évaluer peuvent se développer ainsi :

1° Les courbes d'égales surfaces, étant des hyperboles homothétiques, sont aisées à tracer ; on construit très-exactement l'une d'elles au moyen de quelques-unes de ses tangentes, et les autres s'obtiennent immédiatement en s'appuyant sur les principes de l'homothétie.

La graduation du tableau formé par ces courbes n'est pas plus compliquée : On calcule l'aire correspondant à l'une des courbes en question ; les nombres à inscrire pour les autres courbes d'égales surfaces sont donnés ensuite immédiatement par la théorie des aires des surfaces semblables. — Si l'on trace les courbes de manière à ce qu'elles déterminent des segments égaux sur l'un des rayons vecteurs issus du point O, les *différences secondes* des nombres en question sont égales.

Par suite, en appelant

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots$ ces différents nombres,
$\Delta\alpha_{1.0}, \Delta\alpha_{2.1}, \Delta\alpha_{3.2}, .$ leurs *différences premières*,
$\Delta^2\alpha$ la valeur constante de leurs *différences secondes*,

on aura :

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \Delta\alpha_{1.0},$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha_{2.1} = \alpha_0 + 2\Delta\alpha_{1.0} + \Delta^2\alpha.$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + \Delta\alpha_{3.2} = \alpha_0 + 3\Delta\alpha_{1.0} + 3\Delta^2\alpha.$$

. . . .

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \Delta\alpha_{n.n-1} = \alpha_0 + \frac{n}{1}\Delta\alpha_{1.0} + \frac{n(n-1)}{1.2}\Delta^2\alpha.$$

2° A chacune des différentes manières de choisir le point A correspond un tableau graphique de forme déterminée ; et, pour chacun de ces tableaux, il existe un système de courbes d'égales surfaces, engendrées par les diverses positions du point A correspondant à des aires PMNT constantes. Ces courbes sont généralement d'un degré supérieur au second, mais nous venons de voir qu'elles deviennent des hyperboles faciles à construire quand on prend pour points auxiliaires les points A_1. Ce n'est pas là le seul avantage de la façon de procéder que nous venons d'étudier. En effet, il est clair que l'on a intérêt à diminuer autant que possible la longueur des courbes d'égales surfaces ; car ces courbes augmentent inutilement la surface du tableau ; et, si l'on trouvait un moyen de réduire chacune d'elles à un point, le tableau se composerait d'une courbe unique. Il ne faut pas songer évidemment à réaliser ce maximum de simplicité ; mais, du moins, en opérant comme on l'a fait, c'est-à-dire en prenant pour points auxiliaires les points A_1, on obtient le minimum de longueur des courbes en question ; c'est ce que l'on reconnaît aisément par la théorie des centres instantanés de rotation.

La *fig.* 1 correspond à des profils compris dans les limites suivantes :

1° Inclinaisons sur l'axe allant depuis — 0,33 à + 0,33 (Il serait aisé de dépasser ces limites sans agrandir beaucoup le tableau).

2° Cotes sur l'axe variant depuis 0 jusqu'à 10 mètres (à l'échelle de $0^m,005$).

Il n'est pas indispensable de faire figurer dans le tableau représenté sur cette *fig.* 1 des courbes correspondant à des cotes sur l'axe supérieures à 10 mètres. En effet, les cas de remblais correspondant à des cotes aussi grandes sont relativement rares; et, pour ces cas exceptionnels, on peut se servir des formules suivantes qui sont très simples.

Soient S_c la surface d'un demi-profil dont la cote sur l'axe est c; $S_{\frac{c}{2}}$, la surface d'un demi-profil ayant la même inclinaison de terrain naturel avec une cote sur l'axe égale à $\frac{c}{2}$; l la demi-largeur de la plate-forme et t la pente du talus de remblai. On a évidemment :

$$\frac{S_c + \frac{l^2t}{2}}{S_{\frac{c}{2}} + \frac{l^2t}{2}} = \frac{c^2}{\frac{c^2}{4}} = 4.$$

D'où l'on tire, en remarquant que, pour le cas qui nous occupe, l^2t est égale à 3 mètres carrés $\left(\text{en tenant compte des valeurs de } l \text{ et de } t \text{ généralement admises : } l = 3^m,00;\ t = \frac{2}{3}\right)$.

$$S_c = 4S_{\frac{c}{2}} + 9 \text{ mètres carrés.}$$

On a également pour l'emprise :

$$E_c = 2E_{\frac{c}{2}}.$$

et pour la longueur du talus :

$$T_c = 2T_{\frac{c}{2}} + 3^m,60.$$

Un seul tableau peut servir à faire les opérations relatives à plusieurs profils; car on peut tracer sur ce tableau diverses lignes telles que TN, différemment inclinées; et cela sans crainte de confusion.

Manière de procéder dans la pratique. — 1° Former un cahier de profils en réunissant au moyen d'une agrafe le nombre de feuilles gravées nécessaires pour faire les opérations relatives à tout le projet;

2° Inscrire pour chacun des profils dans des petits cartouches que l'on pourra faire représenter sur les feuilles gravées les cotes sur l'axe et les inclinaisons du terrain naturel;

3° Tracer toutes les lignes TN (lignes du terrain naturel) du projet;

4° Lire les nombres inscrits sur les courbes auxquelles les différentes lignes TN sont tangentes et inscrire ces nombres dans les cartouches. [Le point de tangence A_1 est facile à déterminer pour chacune des lignes TN; mais cette détermination n'est pas nécessaire, car on apprécie à l'œil la position de ce point A_1 d'une façon suffisamment exacte; et il est à remarquer qu'une erreur petite de premier ordre sur A_1 ne donne qu'une erreur petite de second ordre sur le nombre donnant la surface limitée par TN (pourvu que la position erronée de A_1 soit exactement sur TN); ceci résulte des propriétés générales des tangentes];

5° Compléter les indications à fournir dans les cartouches, et faire les produits des surfaces des profils par les distances correspondantes. (Cette dernière opération pourrait être effectuée à l'aide d'un tableau anamorphique.)

En suivant cette marche, on divise le travail à faire suivant le mode qui assure le maximum de simplicité et de célérité; car on réduit au minimum le nombre des changements d'instruments dont on a à se servir (plume, crayons, tire-ligne, etc.), changement qui sont toujours des causes de gêne et de perte de temps.

Du retrait du papier. — Il semble qu'on puisse admettre

que, dans un papier bien fait, le retrait s'exerce également dans tous les sens, ce qui assure la conservation de la forme des figures; le procédé que nous venons d'indiquer est donc indépendant du retrait, car, si celui-ci se produit, les diverses quantités que l'on a à déterminer sont toutes altérées de la même façon; et l'on n'a d'ailleurs aucune mesure à prendre au décimètre.

Si l'on conteste le fait de l'égal retrait dans tous les sens, du moins on peut admettre que dans le retrait :

Une feuille rectangulaire reste rectangulaire (le rapport de la longueur à la largeur pouvant changer),

Et que par suite :

Les lignes droites se conservent droites,

Les parallèles restent parallèles.

Et alors le procédé est encore exact, à condition de lui faire subir une légère modification, qui consiste à rejeter l'emploi du rapporteur et à y substituer l'usage d'une sorte de *rose des vents* (*fig.* 3), gravée dans un coin de la feuille et donnant les principales inclinaisons du terrain naturel que l'on peut rencontrer ordinairement; il suffit, pour tracer les lignes TN, de mener dans chaque cas, à l'équerre, une parallèle au rayon de cette rose des vents qui convient à ce cas.

Deuxième problème.

ÉNONCÉ. — *Un ingénieur ayant besoin de calculer rapidement un grand nombre de surfaces de profils en travers et ne disposant pour le moment que de l'outillage ordinaire du dessinateur, se propose de simplifier son travail par l'emploi de constructions graphiques peu compliquées.*

Le problème peut être résolu en faisant l'épure suivante (Voir *fig.* 4) :

On trace le profil PMN de la plate-forme du projet; puis on construit très-exactement un arc de courbe S*u*, enveloppe de lignes TN, T'N' déterminant des aires PMNT équi-

valentes. (La position de ces lignes TN, T'N' se fixe sans peine, puisque l'on a : $OT \times ON = OT' \times ON' =$ constante; le calcul (ou même la construction graphique) de la longueur ON' correspondant à un OT' déterminé est donc aisé à faire; et l'on arrive en quelques minutes à tracer exactement l'arc *Su*, qui a d'ailleurs peu de longueur; les points extrêmes S et *u* sont déterminés par les limites d'inclinaison de TN que l'on a à considérer). — On représente aussi l'un des rayons vecteurs issus de O, OS par exemple; on le divise en parties égales, et l'on écrit sur chaque degré la valeur commune des aires équivalentes déterminées par les tangentes à celle des courbes d'égales surfaces qui passerait en ce point, si ces courbes étaient tracées. (Cette graduation se fait très-vite à l'aide des *différences*, ainsi que cela a été expliqué dans le problème 1.)

L'épure est alors préparée, et voici comment on s'en sert :

Soit une ligne de terrain naturel T_1N_1; il s'agit d'évaluer l'aire PMN_1T_1. — Pour cela, on prend le milieu m_1 de T_1N_1; on mène Om_1 qui rencontre l'arc S*u* en *m*; on joint *m*S et l'on trace, à l'aide d'une équerre, m_1S_1 parallèle à *m*S; il suffira évidemment de lire, sur l'échelle OS, le nombre inscrit à côté de S_1 pour avoir l'aire cherchée (cela résulte de ce que toutes les courbes d'égales surfaces sont homothétiques).

Le procédé ne réussit pas toutefois pour les cas particuliers où la ligne T_1N_1 rencontre la ligne PM dans l'intérieur de l'angle TON. Si ces cas particuliers se présentaient un peu nombreux dans un projet, on pourrait faire pour eux une épure spéciale, analogue à la précédente et facile à imaginer.

Brest, 4 octobre 1879.

N° 59

NOTE

SUR

UNE MÉTHODE DE CALCUL DES TERRASSES (*)

PAR RÉDUCTION A L'HORIZONTALE

Par M. BOULANGIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La méthode de calcul des terrasses que nous allons faire connaître est à la fois très-expéditive et très exacte.

Elle s'applique aux avants-projets comme aux projets définitifs de routes, de canaux et de chemins de fer.

Elle repose sur un principe très-simple et qui est certainement connu de tous les ingénieurs.

1er CAS. — Le terrain naturel est horizontal.

Soit ABCD (*fig.* 5, Pl. 31) un profil en travers de déblai; les talus sont, par exemple, à $\frac{1}{1}$. La surface ABCD = S, exprimée en fonction de la largeur l de la plate-forme et de la cote rouge, y est :

$$S = (l + y) y.$$

OMX étant la ligne noire du profil en long (*fig.* 6), OX la ligne rouge du projet, MP le profil en travers ABCD, lorsque ce profil se transporte en M'P', le volume élémentaire résultant de ce déplacement est égal à :

$$(l + y) y dx.$$

(*) Cette méthode a été appliquée dans l'avant-projet du canal direct de Dunkerque à Lille, qui comporte 16 millions de mètres cubes de déblais.

Le volume V correspondant à la surface OMX, est donc :

$$(1) \qquad V = \int_0^X (l + y) y dx = \int_0^X l y dx + \int_0^X y^2 dx.$$

La première intégrale a pour valeur $l\Sigma$; en appelant Σ la surface OMX, la seconde peut s'écrire :

$$\int_0^X y^2 dx = 2 \int_0^X \frac{y}{2}\, y dx,$$

et remarquant que $\frac{y}{2}\, y dx$ est le moment d'inertie de la surface élémentaire MMP'P :

$$\int_0^X y^2 dx = 2g\Sigma',$$

g étant l'ordonnée du centre de gravité de la surface OMX.

La formule (1) devient donc :

$$(1) \qquad V = \Sigma\,(l + 2g).$$

Pour les talus à $\frac{3}{2}$, on a :

$$(2) \qquad V = \Sigma\,(l + 3g).$$

Les mêmes formules s'appliquent évidemment à un remblai. On tiendra compte, soit des fossés, soit des banquettes, en ajoutant la constante 2FL, dans laquelle F est la surface transversale de la banquette ou du fossé, L la longueur OX du profil en long.

2e CAS. — Le terrain naturel a une pente uniforme.

Ce cas se ramène au précédent.

Soit le profil ABCD (*fig.* 7). Prolongeons les talus jusqu'à leur rencontre en O. Soit EF la ligne d'un terrain horizontal fictif, telle que :

surf. ABCD = surf. EFCD.

Les triangles AOB, EOB étant par cela même équivalents, on a l'égalité :

$$OA \times OB = OE \times OF.$$

d'où :

$$(a) \qquad \frac{OA}{OE} = \frac{OF}{OB}.$$

Par le point B menons la parallèle BB' à la plate-forme, la similitude des triangles EFO, B'BO donne :

$$(b) \qquad \frac{OE}{OB'} = \frac{OF}{OB}.$$

Comparant les égalités *a* et *b*, on conclut :

$$\overline{OE}^2 = OA' \times OB'.$$

OE est donc moyenne proportionnelle entre les lignes connues OA et OB'.

La construction du point E et de la ligne EF est facile : sur OA comme diamètre, on décrira une demi-circonférence ; par le point B' on élèvera une perpendiculaire B'E' à OA, et l'on rabattra le point E' en E par une rotation autour du point O.

On mesurera alors la hauteur y de EF au-dessus de la plate-forme, laquelle ne sera pas égale en général à la cote sur l'axe donnée par le profil en long.

Supposons quant à présent le cas simple de deux profils en travers consécutifs tout entiers en déblai MP, NQ (*fig.* 8). On marquera sur les ordonnées de ces profils les points M', N' correspondant aux deux hauteurs y et y' calculées en ramenant le terrain à l'horizontale, et appliquant à la surface M'N'QP les lettres Σ et g employées ci-dessus, on emploiera les formules (1) et (2).

3e cas. — Le terrain naturel n'a pas une pente uniforme.

Soit ABE la ligne du terrain (*fig.* 9); joignons AE et, par le point B, menons une parallèle à AE, le profil AFCD est équivalent au profil donné ABECD, à cause de l'équivalence des triangles ABK et KEF. On est ramené ainsi au deuxième cas.

D'une manière générale, si la ligne du terrain forme un polygone de n côtés, on la ramènera par la construction ci-dessus à un polygone de $n - 1$ côtés; exemple :

Le profil ABEFHCD (*fig.* 10) se transforme d'abord en menant BM parallèle à AE, et l'on a le profil équivalent AMFHCD, qui a un côté de moins. On mène ensuite FP parallèle à MH et l'on obtient le profil équivalent AMPCD. Enfin, on mène MK parallèle à AP, et l'on a le profil à pente uniforme AKCD.

Les mêmes tracés sont applicables aux profils tout entiers en remblais.

4e cas. — Profils moitié en déblai, moitié en remblai.

Il n'y a pas plus de difficulté. Soit le profil ABCD (*fig.* 11). On trace le talus fictif CF, ayant l'inclinaison du talus AD, et l'on construit l'horizontale EF telle que :

$$\text{surf. EDCF} = \text{surf. ADM}.$$

De même on trace le talus fictif DH, ayant l'inclinaison de CB, et l'on construit l'horizontale HK, telle que :

$$\text{surf. HKCD} = \text{surf. BCM}.$$

Par exemple, pour l'horizontale EF (*fig.* 12), on prolongera les talus de déblai jusqu'à leur point de rencontre O, et l'on mènera la parallèle MI à AC. La ligne IC représente le talus uniforme équivalent au talus brisé AMC. Du talus

oblique IC on passera à l'horizontale, comme il a été di (2e cas).

On voit dès lors quelle est la méthode :

Si le terrain est partout horizontal, il n'y a à toucher ni aux profils en travers ni au profil en long; on mesurera les surfaces Σ de celui-ci, tant en déblai qu'en remblai, et les moments g des centres de gravité des surfaces par rapport à la ligne rouge plus ou moins brisée du projet. On emploiera alors les formules (1) et (2).

Si le terrain est accidenté, on commencera par corriger toutes les cotes du terrain sur le profil en long, en substituant les cotes du terrain horizontal équivalent. Les cotes rouges du projet ne changeront pas. On aura ainsi un nouveau profil en long, avec de nouvelles surfaces Σ de déblai et de remblai pour lesquelles on mesurera, par les procédés connus, les moments g, et auxquelles les formules (1) et (2) sont rigoureusement applicables.

Le nouveau profil en long, outre qu'il simplifie notablement les calculs des terrassements, possède encore l'avantage de présenter clairement le mouvement des terres qu'il y aura à exécuter. Il indique exactement pour chaque entreprofil les points de passage du déblai au remblai, ainsi que la position des portions de déblais ou de remblais qui peuvent se présenter dans un même entreprofil.

N° 60

NOTE (*)

SUR

L'EMPLOI DE LA DYNAMITE GELÉE

PENDANT LES TRAVAUX EXÉCUTÉS A SAUMUR

Par M. GEORGES LEBON, capitaine d'artillerie, aide de camp
de M. le général de division THOUMAS.

L'opération la plus délicate dans l'emploi de la dynamite, la seule délicate, dirions-nous volontiers, est celle qui consiste à faire dégeler la dynamite. Cependant, elle est généralement considérée comme nécessaire, elle est usitée dans l'industrie, et on la prescrit dans presque tous les services. On recommande à ce sujet des précautions qui, si elles étaient toujours exactement suivies, écarteraient à peu près tout danger; mais le sort inévitable des précautions minutieuses est d'être laissées de côté, quand il faut opérer rapidement et sur une grande échelle. A Saumur, où on a consommé jusqu'à 1 500 kilog. de dynamite par jour, maniés par des hommes dont beaucoup se servaient de cette substance pour la première fois, on eût été exposé à avoir des accidents graves, si on s'était astreint à faire dégeler des masses aussi considérables, dans les conditions d'installation improvisées où l'on se trouvait. Le but de cette note est d'appeler l'attention sur ce fait que l'opé-

(*) Cette note a été rédigée à la sollicitation de M. l'ingénieur en chef Sainjon, à la disposition duquel nous avions été mis par le Ministre de la guerre, sur la demande du Ministre des travaux publics, pour prendre part aux travaux de défense de Saumur contre les glaces. M. Sainjon a pensé qu'il était utile de faire connaître le mode d'emploi de la dynamite qui dispense de la faire dégeler.

ration du dégel n'est pas nécessaire, même par des températures inférieures à 20° au-dessous de zéro, à la condition d'employer des capsules et un mode d'amorçage convenables.

Mais d'abord, il n'est peut-être pas sans intérêt de rappeler la nature des accidents que peut entraîner l'opération du dégel de la dynamite. Le plus terrible est celui arrivé à Parme en 1878, où 80 personnes ont été tuées ou blessées par suite de l'explosion d'une quantité très faible de dynamite, un kilogramme environ. Nous trouvant à Rome quelques semaines après cette catastrophe, nous avons pu avoir des détails assez complets sur les circonstances dans lesquelles elle s'est produite.

Le 21 février 1878, des détachements de sapeurs d'infanterie et de cavalerie étaient appelés à procéder à des exercices pratiques sur l'emploi de la dynamite, sous la direction d'un capitaine d'artillerie, aux alentours de la citadelle de Parme. — La température était inférieure à 8° centigrades, et par suite la dynamite était gelée. — Dans le but de la faire dégeler, on l'avait placée dans des bidons qui étaient chauffés au bain-marie. Tandis que le capitaine qui était chargé de la direction des exercices était occupé à donner des instructions, un lieutenant de cavalerie emporta, à l'insu du capitaine, le bidon qui était affecté au détachement qu'il commandait et qui renfermait environ un kilogramme de dynamite. Ce détachement était chargé d'abattre un arbre à quelque distance de là, et un grand nombre de curieux s'étaient groupés tout autour.

Le lieutenant, trouvant que la dynamite n'était pas suffisamment dégelée par l'action du bain-marie, fit prendre un brasero dans une maison voisine; et, tandis que les assistants se pressaient autour de lui, il plaça le bidon renfermant la dynamite sur le brasero. On a dit bien souvent que la dynamite a besoin, pour détoner, d'un détonateur initial; que mise au contact avec un corps en igni-

tion, elle se contente de brûler. On a encore exprimé ce fait en disant qu'elle brûle ou détone comme le corps qui la touche, qu'elle reproduit, ou plutôt, qu'elle continue exactement le mouvement vibratoire qui lui est imprimé : Aussi le lieutenant a-t-il pu croire qu'il risquait, au pis aller, que son kilogramme de dynamite prît feu et brûlât tranquillement. Cette opinion, qui est inexacte quand on la prend dans un sens absolu, et qui malheureusement est très répandue, a déjà fait bien des victimes. La vérité est que la combustion simple se transforme souvent en détonation, pour des causes assez multiples. Si, par exemple, on porte brusquement une goutte de nitroglycérine à la température de 180° centigrades en la jetant sur une barre métallique chauffée à cette température, la nitroglycérine détone. Or, un fait de ce genre a pu se produire quand le lieutenant a posé son bidon sur le brasero. Au milieu des cendres du brasero, il pouvait se trouver un morceau de braise qui a porté brusquement la température d'un point de la paroi métallique à 180°; une molécule de dynamite ou de nitroglycérine, en contact avec ce point, venant à détoner, devait provoquer la détonation de toute la masse.

Quoi qu'il en soit, au moment même où le lieutenant posa le bidon sur le brasero, une détonation se produisit; les effets en furent terribles, par suite de la grande quantité de spectateurs : le lieutenant eut les bras et les jambes emportés et fut tué sur le coup : il en fut de même de tous ceux qui étaient très-rapprochés; et il y eut en outre 80 blessés.

Peut-on attribuer tous ces effets à l'action directe des gaz provenant de la détonation de la dynamite? C'est peu vraisemblable. Car, pour une quantité de dynamite aussi faible qu'un kilogramme, détonant à l'air libre, cette action ne paraît pas se faire sentir au delà de quelques mètres. Nous avons eu l'occasion de constater, dans le cours des expériences de la commission mixte d'études sur la dynamite,

instituée à Versailles sous la présidence de M. le général de division Thoumas, qu'en faisant détoner $1^k,400$ de dynamite au pied d'un mur, des gabions ayant été placés respectivement à 5 mètres, 10 mètres et 15 mètres en avant du mur, du même côté que la charge, aucun des gabions n'a été renversé.

Mais si les gaz provenant de la détonation n'ont pas, suivant toute apparence, occasionné par leur action directe les effets constatés dans l'accident de Parme, il n'est pas douteux qu'ils ont agi indirectement par les projections qu'ils ont déterminées. C'est ainsi qu'on a extrait d'un certain nombre de blessures des morceaux de fer blanc qui provenaient évidemment du bidon. D'autres blessures, en grand nombre, étaient très petites, mais elles étaient profondes et présentaient à l'intérieur une cavité d'où s'échappait une suppuration. On a admis généralement que ces blessures avaient dû être produites par des grains de sable projetés avec une énorme vitesse, sans qu'il fût possible cependant d'y retrouver aucun corps étranger.

Un autre fait, arrivé à Saumur, montre bien le danger du dégel de la dynamite. Pendant les premiers jours des travaux, avant notre arrivée, on dégelait la dynamite dans de l'eau chaude qu'on réchauffait de temps en temps. Sur un des chantiers où l'on faisait cette opération, un officier ayant remarqué que l'eau dans laquelle on trempait les cartouches était devenue huileuse, la fit verser dans un des trous pratiqués dans la glace, en même temps qu'on y mettait une cartouche : la détonation fut équivalente à celle de plusieurs cartouches. Il est probable que si on avait continué à réchauffer cette eau sur un brasier, on eût fini par avoir un accident analogue à celui de Parme. On dira que cette manière de dégeler était défectueuse ; mais pense-t-on que l'on pourra toujours prendre les dispositions et les précautions convenables ? Au début des travaux de Saumur, on ne consommait par jour que de faibles quantités de dynamite, ce

qui rendait possible à la rigueur l'opération du dégel. Mais, au bout de quelques jours, on allait être conduit à consommer plus de 1 000 kilog. de dynamite, répartis entre un grand nombre de chantiers, et divisés en une foule de petites charges qui devaient être confectionnées à la hâte, en plein air, par un froid qui atteignit certains jours 12° au-dessous de zéro. Des ateliers étaient improvisés sur la berge, sur un îlot, sur la glace, en des points qui changeaient souvent dans une même journée, à mesure que les travaux avançaient, et où l'on ne disposait nécessairement que d'un outillage incomplet. L'opération du dégel eût été non seulement dangereuse, mais impossible, à cause du temps et des soins qu'elle eût demandés.

Depuis longtemps, la question du dégel de la dynamite avait préoccupé les services militaires. En campagne, en effet, cette opération ne serait pas pratique. Pour la cavalerie notamment, qui est appelée aujourd'hui à faire un usage assez fréquent de la dynamite, il n'est pas admissible qu'on la fasse dégeler. On a bien proposé à cet effet de faire porter la dynamite dans la poche des hommes ; mais, sans parler des inconvénients que présenterait cette mesure, il ne faut pas oublier qu'elle serait souvent inefficace. Quand la dynamite n'a été gelée que pour être restée quelques jours à une température peu inférieure à 8°, elle dégèle très facilement, et on y arrive en la tenant quelque temps dans la poche. Mais il n'en est pas de même, si elle a été exposée pendant un temps prolongé à des températures comme celles de l'hiver dernier, allant jusqu'à — 25°. Il fallait donc pour les services militaires trouver une capsule qui fît détoner la dynamite gelée.

Des expériences exécutées sur les polygones militaires, tant en France qu'à l'étranger, ont montré que, pour faire détoner la dynamite gelée, les capsules employées dans l'industrie, qui ne contiennent que 15 à 25 centigrammes de fulminate , sont en général insuffisantes, et que pour

obtenir ce résultat avec certitude, il faut employer des capsules contenant 1 gramme au moins de fulminate de mercure pur et sec. C'est ainsi qu'en Belgique, une barre de fer de 0m,05 de largeur sur 0m,04 d'épaisseur, que l'on rompt à la température ordinaire au moyen d'une charge de 500 grammes de dynamite, n'a pu être brisée par la même charge gelée, amorcée par une capsule à charge de 45 centigrammes de fulminate pur et sec.

Au contraire avec les capsules à charge de 1 gramme ou 1g,25 de fulminate pur et sec, on a produit une détonation franche aussi forte qu'avec la dynamite molle, et les effets produits sur la barre de fer ont été exactement les mêmes.

En France, on a considéré la charge de 1 gramme comme un minimum qui pouvait se trouver insuffisant avec de la dynamite fortement gelée (c'est ce qui est arrivé précisément à Saumur quand on a employé des capsules à 1 gramme) et on s'est arrêté à une capsule contenant 1g,50 de fulminate. Cette charge de fulminate est comprimée dans le fond d'un tube de 6 millimètres de diamètre en cuivre rouge; elle y est maintenue par un second petit tube qui est introduit dans le premier à frottement. Ce petit tube additionnel, qui fait office de bourrage sur le fulminate, est terminé à sa partie supérieure par une petite calotte courbe percée d'un trou de 3 millimètres de diamètre. Le croquis ci-joint indique cette disposition.

Fig. 1.



Capsule (grandeur d'exécution).

Pendant le mois de décembre dernier, le froid étant descendu à Versailles jusqu'à 25° au-dessous de zéro, nous en avons profité pour vérifier, au nom de la commission mixte d'études sur la dynamite, que même par ces températures extrêmes qui n'avaient pas été atteintes les hivers précédents, la dynamite n° 1 de Vonges, en l'amorçant avec ces capsules, détonait franchement. La dynamite employée

était sous forme de pétards de cavalerie dont il sera parlé tout à l'heure, et les capsules provenaient de l'Ecole de pyrotechnie de Bourges. — L'expérience, répétée pendant six jours, n'a donné lieu à aucun raté, et la détonation a toujours été franche, comme ce qu'on est convenu d'appeler une détonation de 1er ordre. En outre, des ruptures doubles en couple, exécutées sur des rails à patin et sur des rails à double champignon, ont donné les mêmes résultats que ceux qu'on avait obtenus depuis trois ans dans les conditions de température ordinaires. C'est en s'appuyant sur ces faits que nous avons cru pouvoir, dès notre arrivée à Saumur, demander qu'on ne fît plus dégeler la dynamite, et qu'on employât uniquement les capsules de l'Ecole de pyrotechnie de Bourges, à l'exclusion de toutes les autres dont on disposait, et qui donnaient lieu à des ratés fréquents.

Par une autre expérience faite à Versailles au commencement de janvier, nous avons reconnu que non seulement la capsule détermine la détonation de la dynamite avec laquelle elle est en contact, mais de plus que cette détonation se transmet bien le long d'un chapelet de plusieurs mètres, constitué par des pétards de dynamite très fortement gelés, placés bout à bout, et *solidement* ficelés sur des lattes. Le chapelet le plus long avait été de 10 mètres.

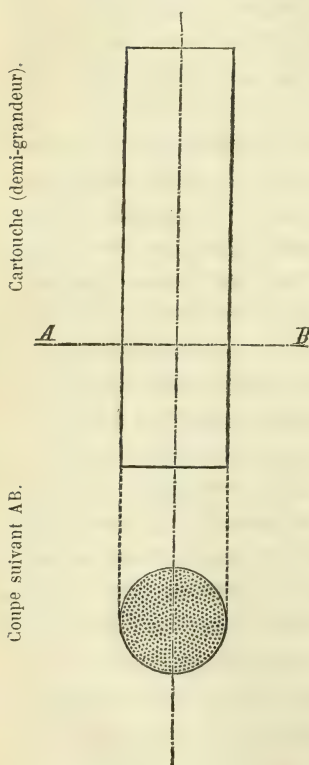
Une application de cette expérience a été faite à Saumur par M. le capitaine du génie Binet, sur un chapelet de 180 mètres de longueur qui était posé sur la glace, et bourré partie en sacs à terre, partie avec des glaçons. Pour éviter que la détonation ne s'affaiblît en se transmettant, on avait placé de 10 mètres en 10 mètres une capsule présentant son orifice du côté d'où venait la détonation. Le feu ayant été mis, avec une mèche lente, à une des extrémités du chapelet, la détonation eut lieu sur 30 mètres de longueur; elle s'arrêta en un point où il y avait de l'eau sur la glace, et où, par suite, la capsule avait dû être for-

tement mouillée. Les 150 mètres restants, ayant été de nouveau amorcés, détonèrent sans interruption ; la glace fut brisée d'une manière uniforme sur toute la longueur du chapelet, ce qui semble bien indiquer qu'en interposant de distance en distance des capsules, la détonation se transmet sans s'affaiblir.

De ce qui précède il résulte que, pour se servir de la dynamite gelée, il faut recourir à des capsules comme celles dont on vient de parler. Mais la question est-elle complètement résolue par l'emploi de cette capsule ?

Si l'on prend une cartouche ordinaire, à enveloppe de papier, dont la dynamite est gelée, comment placera-t-on la capsule ? On ne pourra, comme on le fait dans le cas de la dynamite molle, enfoncer la capsule dans la dynamite, on sera réduit à fixer la capsule latéralement contre la cartouche ; mais la cartouche et la capsule, étant toutes deux cylindriques, ne se toucheront que par une génératrice. Cependant, si on a soin de déchirer l'enveloppe de papier pour rendre le contact plus intime, et si l'on ficelle solidement la capsule contre la cartouche ; ou bien encore, si au lieu d'une seule capsule on en prend deux, comme on l'a fait quelquefois à Saumur, et qu'on les place entre trois cartouches solidement ficelées, on pourra, par ces divers expédients, faire détoner la dyna-

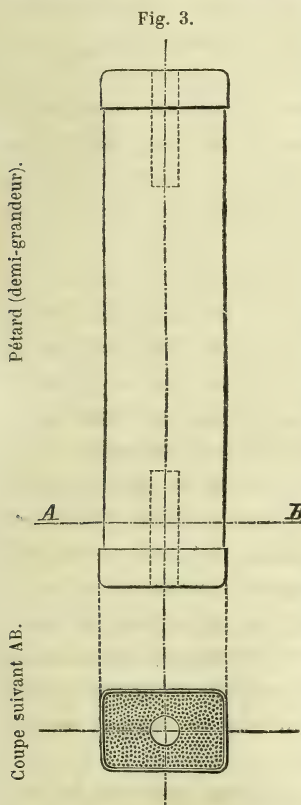
Fig. 2.



mite gelée ; mais on aura encore fréquemment des ratés ou des détonations incomplètes

Il est donc nécessaire d'avoir, pour l'amorçage, des cartouches spéciales où le logement de la capsule soit préparé à l'avance, de sorte qu'on puisse toujours l'y introduire facilement, que la dynamite soit molle ou qu'elle soit gelée. Ce sont ces cartouches spéciales, présentant un logement pour la capsule, qu'on est convenu, dans les services militaires, d'appeler pétards, pour les distinguer des cartouches ordinaires (*).

Fig. 3.



Leur enveloppe extérieure, qui est métallique (celle des cartouches ordinaires est en papier), est constituée par une feuille de fer blanc ne présentant pas de soudure. Elle est maintenue, à chacune de ses extrémités, par un couvercle qui entre dessus à frottement dur. Au centre de chacun de ces couvercles est fixé un petit tube faisant saillie à l'intérieur, fermé à son extrémité et destiné à recevoir la capsule. L'orifice extérieur de ces petits tubes est recouvert par un ruban de fil qu'on arrache au moment d'introduire la capsule dans l'un d'eux. Le tout est recouvert de papier.

(*) Cette disposition, qui permet d'amorcer la dynamite gelée de façon à la faire détoner sûrement, a été proposée par une Commission instituée à Versailles en 1875 à l'École régimentaire du génie.

On peut faire des pétards de divers poids, ils peuvent être cylindriques ou prismatiques. On a représenté en demi-grandeur, dans les croquis ci-joints, un pétard prismatique de 100 grammes, et à côté une cartouche de 100 grammes de dynamite n° 1 de Vouges.

Pour amorcer une charge, il suffit d'employer un seul pétard, le reste de la charge étant constitué par des cartouches. 14 508 pétards ont été employés à Saumur. Ils ont servi à amorcer et quelquefois à confectionner (faute de cartouches) 6 060 charges. Le poids des charges a varié suivant l'épaisseur de la glace et suivant les effets à obtenir, depuis 300 grammes jusqu'à 25 kilog. La disposition en chapelets horizontaux n'a été employée que rarement ; en général on s'est servi de charges concentrées placées verticalement.

En résumé, l'emploi combiné de la capsule à 1g,50, qui a été décrite, et d'un pétard-amorce, permet de se servir, sans opération préalable, de la dynamite qui a été gelée à des températures allant jusqu'à 20° au-dessous de zéro.

En dehors des raisons d'économie, qui dans l'industrie peuvent faire hésiter devant l'emploi de la capsule à 1g,50 et du pétard-amorce, nous ne voyons guère qu'un cas où l'emploi de la dynamite gelée doit être prohibé, c'est celui où la dynamite doit être *bourrée* dans des trous de mines ; on sait qu'en effet, il est dangereux de frapper sur de la dynamite gelée ; la catastrophe arrivée au fort de Larmont, près de Pontarlier, en 1877, en est un exemple mémorable. Dans toute autre circonstance, il semble préférable d'employer la dynamite dans l'état où elle se trouve, sans se préoccuper de la faire dégeler.

La consommation totale de dynamite pendant les travaux de Saumur a été de 12 887 kilog., dont 1.450 kilog. en pétards, 5 195 kilog. en dynamite de Vonges, 6 240 kilog. en dynamite de Paulilles. On a consommé en outre 250 kilog. de coton-poudre comprimé qui, en général, n'a

pas été employé seul, mais mélangé aux charges de dynamite.

Il n'y a pas eu un seul accident à déplorer, du fait de ces explosifs. Ces chiffres montrent quelle sécurité relative présente l'emploi de la dynamite : nous ne croyons pas qu'on eût pu manier des quantités équivalentes de poudre, dans des conditions d'installation aussi improvisées, sans risquer des accidents graves.

Pendant que nous rédigions cette note, nous avons appris que l'opération du dégel de la dynamite venait encore de coûter la vie à deux hommes dans un département du Nord.

Nous serons heureux, si nous pouvons contribuer, dans une certaine mesure, à diminuer pour l'avenir les probabilités de pareils accidents, en insistant sur ce fait, qu'on peut éviter, dans le plus grand nombre de cas, la seule opération vraiment délicate que comporte le maniement de la dynamite, et en vulgarisant les procédés qui permettent de l'employer sans danger, lorsqu'elle est gelée.

CHRONIQUE.

Octobre 1880.

N° 61

Le tunnel sous l'Hudson. — On travaille en ce moment avec une très grande activité au tunnel destiné à relier Jersey City à New-York, en passant sous l'Hudson. Cet important ouvrage aura une longueur totale de 2,681 mètres, soit 1,676 mètres sous le lit de la rivière et 1,005 mètres sous les terrains contigus. Il se compose de deux galeries indépendantes l'une de l'autre, quoique parallèles et très rapprochées. Chacune d'elles présente une ouverture libre de $4^{m},88$ de largeur sur $5^{m},48$ de hauteur. Le terrain traversé est favorable aux opérations de fonçage. C'est une sorte de vase compacte, très tenace, qui devient à demi fluide quand elle est mélangée avec une quantité d'eau suffisante. On emploie pour la construction une méthode nouvelle qui mérite de fixer l'attention. On commence par foncer un puits vertical en maçonnerie sur un rouet en bois (*). Arrivé à la profondeur requise, on établit un solide fond de béton et on fixe une écluse à air vers le milieu de la hauteur du puits. A partir du fond du puits, et perpendiculairement à sa direction, on fait pénétrer dans le terrain un cylindre de tôle, long de $2^{m},44$ et ayant $1^{m},93$ de diamètre ; puis on le fait suivre d'une série d'anneaux métalliques tels que le diamètre de chacun d'eux est supérieur de $0^{m},46$ à celui de l'anneau qui le précède. On a ainsi une galerie d'avancement de forme conique ; quand le diamètre du dernier anneau est suffisant, on garnit tout cet ouvrage temporaire au moyen de béton, et on s'en sert comme point de départ pour la construction définitive.

(*) Cette opération s'effectue comme dans quelques-uns de nos ports, Bordeaux, Nantes, le Havre, par déblais dans l'intérieur du puits.

Chaque galerie est construite à l'intérieur d'un cylindre circulaire en tôle, de $0^m,009$ d'épaisseur, composé d'anneaux ayant $0^m,76$ de longueur. Chacun de ces anneaux comprend quatorze plaques de tôle. En général, on met en place en même temps cinq de ces anneaux ; la vase qu'on traverse se tient assez bien sous la pression de l'air comprimé pour qu'on puisse la fouiller facilement et sans danger. Au fur et à mesure de l'avancement du travail, on complète l'ouvrage en arrière pendant qu'on place les anneaux à l'avant. Le blindage en tôle est recouvert d'une maçonnerie de briques et ciment de $0^m,90$ d'épaisseur. L'avancement moyen est d'environ 1^m22 par jour; il est quadruple de ce qu'il était quand on a commencé le fonçage au mois de février dernier. On a ménagé entre le fond de la rivière et le tunnel une couche de vase d'environ 6 mètres.

On travaille à la lumière électrique et sans avoir besoin de recourir à des moyens coûteux, tels que batardeaux, boucliers, etc. On estime que la dépense ne dépassera pas 50 millions.

Ce tunnel livrera passage à 400 trains par vingt-quatre heures. Le service de nuit sera spécialement réservé aux marchandises. La traction s'effectuera au moyen de machines ne donnant lieu à aucune émission de fumée ou de vapeur; enfin, de puissantes machines fixes renouvelleront l'air d'une manière continue. La muraille sera peinte en blanc et éclairée au gaz (*). (Extrait de l'*Engineering,* de l'*Engineering-News* et du *Railroad-Gazette.*)

Emploi de la machine Otto pour les signaux à la mer. — On sait combien les brouillards sont dangereux pour la navigation à l'approche des côtes. Par un temps brumeux, les signaux lumineux ne sont plus perceptibles qu'à une portée trop restreinte pour être efficace, et l'on a dû recourir, dans ces derniers temps, aux avertissements produits par le son de trompettes de différents systèmes.

Les brouillards qui se manifestent à l'embouchure de la Clyde présentent ce caractère particulier, qu'ils se produisent presque soudainement et que la durée en est souvent fort courte; on comprend néanmoins les dangers auxquels la navigation se trouve

(*) Depuis que cet article est écrit, un accident d'une grande gravité s'est produit sur les chantiers du tunnel. Un effondrement du plafond a amené l'interruption des travaux et la mort d'un certain nombre d'ouvriers. Nous reviendrons sur ce sujet quand les causes de cette catastrophe seront exactement connues.

exposée pendant ce temps. Les puissantes trompettes qui servent de signaux dans ce cas et qu'on peut entendre à une distance de huit à dix milles exigent, pour être mises en jeu, une force motrice assez grande. On avait d'abord essayé la vapeur pour produire cette force; mais, dans les parages dont il s'agit, on a dû y renoncer, en raison du temps nécessaire pour monter en pression. Pour les phares en communication avec la terre, et dans les endroits où le gaz est à portée sans trop de dépenses, on emploie actuellement les moteurs à gaz, qui ont donné de très bons résultats. C'est ce même système qu'il s'agissait d'appliquer aux phares isolés sur la Clyde, notamment à celui qui se trouve sur l'île de Cumbrae. On vient de résoudre ce problème de la manière la plus satisfaisante, en adoptant un ensemble de dispositions qui permettent de fabriquer le gaz en très peu de temps et en assez grande quantité pour assurer le fonctionnement des machines pendant de longues périodes. Le gaz qu'on emploie est une espèce particulière de gaz hydro-carboné. On l'extrait d'une matière appelée gazoline, qui est un des résidus qu'on obtient dans la fabrication de l'huile de parafine. L'appareil qui le produit est dû à MM. R. Laidlow et fils, de Glasgow et Édimbourg. Des expériences ont eu lieu le 30 avril dernier, en présence de membres de la commission des phares et d'ingénieurs, au phare de l'île de Cumbrae, au moyen de ce gaz alimentant une machine Otto. On assure que les résultats ont été des plus satisfaisants.

De l'utilisation des laitiers de hauts-fourneaux.— Pendant longtemps, les laitiers des hauts-fourneaux sont restés sans emploi industriel, et leur accumulation dans les usines a obligé les maîtres de forges à les mettre en dépôt aux prix de frais assez considérables. Tout au plus ces matières servaient-elles pour l'entretien des chemins. Dès 1873, cependant, on avait songé à en tirer parti, et M. Charles Wood, directeur de forges de Tees, Middlesbrough, avait pris un brevet à cette époque pour leur transformation en briques à bâtir.

Plus récemment, M. Frederich Ransome vient de trouver, pour ces résidus des forges, un emploi qui intéresse les ingénieurs. Il s'agit de la fabrication d'un ciment, dont les laitiers ou scories réduites à l'état de sable (au moyen de l'eau froide) forment un élément important et tout à fait caractéristique. Le bon ciment de Portland, qu'on emploie maintenant sur une vaste échelle dans tous les travaux hydrauliques et même dans les constructions or-

dinaires, est, comme on le sait, un composé de *silicate de chaux et d'alumine*, dont la teneur moyenne est la suivante :

Chaux	62 p. 100
Silice	22 —
Alumine	8 —
Oxyde de fer	3 —
Alcalis, magnésie, etc.	5 —
	100

Cette composition s'obtient généralement en mélangeant intimement de la craie et de l'argile en proportions déterminées, et en soumettant le mélange à une très haute température, de manière à en former des briquettes ou des boulettes, qu'on réduit ensuite en poudre fine. M. Ransome, auquel on avait demandé de chercher à produire un ciment ayant la force et les propriétés d'hydraulicité du ciment de Portland, a bien vite reconnu le parti qu'on pouvait tirer des scories réduites en sable qui proviennent des hauts-fourneaux, et auxquelles on a ajouté une certaine quantité de chaux. Il a entrepris sur ce sujet une série d'expériences, et il a réussi, à la fin de l'année dernière, à produire un ciment de nuance claire, qui gagne en dureté et en résistance avec le temps. Il paraîtrait qu'au bout de trois jours, ce ciment est aussi dur que le Portland ayant sept jours de date ; qu'à sept jours, il est comme le Portland employé depuis trois mois ; qu'à quinze jours il est comme le Portland d'un an ; et à vingt-huit jours il est plus dur que le Portland de sept ans. Le produit dont il s'agit s'obtient en mélangeant une tonne de laitier des forges de Tees avec une tonne 3/4 de craie ; le tout est brûlé dans un four ordinaire à ciment. Le sable de laitier a la composition suivante :

Silice	38.25 p. 100
Alumine	22,19 —
Chaux	31,56 —
Magnésie	4.14 —
Sulfure de calcium	2,93 —
Protoxyde de fer, etc.	0,91 —

M. Ransome assure qu'en employant des laitiers contenant une plus forte proportion d'alumine, on obtient un ciment encore plus énergique.

On paraît prévoir un grand avenir pour le nouveau produit dont nous venons de parler. (Extrait de l'*Engineering*).

Machine à répandre le sable dans les rues. — On connaît les avantages que présentent les pavages en asphalte et en bois dans

les rues soumises à une forte circulation. Mais on sait aussi qu'ils ont de nombreux inconvénients, dont l'un des plus graves est de devenir excessivement glissants par certains états de l'atmosphère et du temps. On y remédie bien en faisant répandre à la pelle du sable fin sur les chaussées ; mais cette opération, outre qu'elle est coûteuse, ne donne pas une distribution uniforme de la matière et en exige une plus grande quantité qu'il ne serait normalement nécessaire. Le but à atteindre est évidemment d'arriver à un répandage uniforme sur toute la surface glissante, mais sans exagération de la dépense en sable.

En raison de l'intérêt que ce problème présente pour les villes importantes, nous croyons devoir mentionner des essais récents faits par MM. Richard Garrets et fils, de Leiston Works, Suffolk. L'appareil qu'ils ont employé ressemble au répandeur d'engrais de Chambers. Un système de leviers, à la portée de la main du conducteur de la machine, permet de régler comme on le veut le débit du sable. Cette machine se compose essentiellement d'une caisse contenant le sable à répandre, d'une sorte de rouleau distributeur placé au fond de cette caisse, au-dessus d'une trémie. Ce rouleau, long de $1^m,27$ et ayant $0^m,127$ de diamètre, est formé de doigts de $0^m,076$ de large, séparés les uns des autres et disposés en hélice sur un arbre central. Il reçoit son mouvement de celui des roues à l'aide d'un manchon d'embrayage. Deux peignes à dents d'acier empêchent l'engorgement du rouleau par la matière à répandre. Une manivelle coudée imprime à la trémie une série de secousses qui font glisser le sable à sa surface et le font tomber sur la chaussée. On règle son débit au moyen d'une palette placée à la partie inférieure de la trémie et qu'on lève plus ou moins. Il paraît que cette machine fonctionne régulièrement et sans bruit. Elle ne présente extérieurement rien qui puisse effrayer les chevaux et ne gêne pas la circulation. Avec le développement que prennent de jour en jour les chaussées en asphalte, il n'est pas douteux que cet engin ne soit appelé à rendre des services sur les voies à grande fréquentation.

N° 62

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. AUGUSTE JÉGOU D'HERBELINE,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées,

Par M. DE LA GOURNERIE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

En 1824, deux frères, Yves et Auguste Jégou subirent à Nantes l'examen d'admission à l'École polytechnique. Deux ans après ils occupaient, l'un le neuvième rang, l'autre le second sur la liste générale de sortie de cette école, et ils étaient classés dans les ponts et chaussées. Le 1er mai 1829, l'Administration plaça l'aîné dans la Loire-Inférieure, à Blain, pour les travaux du canal de Bretagne, et le second dans la Dordogne, pour le service ordinaire du département.

Travaux dans la Dordogne. — Auguste Jégou habita Périgueux pendant six ans et fit exécuter dans la circonscription qui lui avait été confiée beaucoup de travaux, presque tous d'après ses projets. C'étaient surtout des ouvertures ou des reconstructions de routes; mais dans ce pays très accidenté, l'étude des tracés exige une grande habileté. Le conseil général des ponts et chaussées, à l'occasion d'un projet jugé excellent, signala Jégou à l'attention du directeur général (section des routes, 18 juillet 1832).

Les plus importants des ouvrages d'art qu'il a élevés sont le pont de la Cité, à Périgueux, et celui de Saint-Astier; tous les deux sur l'Isle.

Jégou donna son concours à la mairie de Périgueux pour amener et distribuer des eaux dans cette ville. Le canal qu'il a construit franchit trois vallées sur des ponts-aqueducs, modèles d'économie, de parfaite exécution et de bon goût. Le canal et la distribution des eaux méritaient, eu égard à leur date, d'être l'objet d'une publication. Ici se révèle un des traits du caractère de Jégou : toujours occupé des grands problèmes que lui présentait son service, il n'a rien imprimé, bien qu'il écrivît très facilement et toujours avec méthode et clarté.

Travaux exécutés par Jégou dans la Loire-Inférieure, comme ingénieur ordinaire. — En 1835, Jégou fut attaché au service spécial créé pour la construction des routes stratégiques et placé à Nantes. Il a passé trente années dans cette ville, et pendant ce long laps de temps, a été mêlé à presque toutes les grandes opérations des ponts et chaussées dans la Loire-Inférieure.

Comme ingénieur ordinaire, il ouvre treize routes nouvelles (*), et fait aux anciennes de nombreuses rectifications. Il reconstruit deux des ponts de Nantes (**), restaure et élargit plusieurs des autres, en élève sur divers points du département (***), établit à Clisson, sur la Moine, un viaduc qui est souvent cité pour son élégance et sa légèreté (****); transforme le port de Nantes en donnant aux

(*) Dans l'établissement des routes stratégiques, on fit exécuter sur divers points les terrassements par des soldats. Malgré les grandes difficultés que présente l'application des troupes aux travaux publics, Jégou a obtenu par cette méthode de bons résultats pour la construction de la levée d'Embreil, sur la route de Nantes à Ancenis.

(**) Le pont Rousseau et le pont Maudit.

(***) A Clisson, sur la Sèvre; à Remouillé, sur la Maine.....

(****) Les piles sont traversées par un berceau ogival dont la rencontre avec les arches forme des voûtes d'arêtes. Les dessins de cet ouvrage remarquable ont été insérés dans le portefeuille de l'École des ponts et chaussées.

quais, aux cales de déchargement et aux chantiers de construction un développement plus considérable et de meilleures dispositions; fait à divers ports secondaires des travaux appropriés à leur importance commerciale (*), rédige un projet qu'il a exécuté plus tard pour filtrer et distribuer à Nantes des eaux prises dans la Loire; enfin participe, dans la limite de ses attributions, à l'érection du pont suspendu d'Ancenis, concédé à une compagnie.

Promotion au grade d'ingénieur en chef, service de la Loire; construction du chemin de fer de Paris à Nantes. — Ces grands résultats étaient universellement appréciés. En 1843, M. Lemierre, ingénieur en chef chargé des travaux de la Loire maritime, ayant demandé sa retraite, le ministre répondit au vœu de la population en donnant sa succession à Jégou. Peu de temps après, on lui confia deux nouveaux services : la construction du chemin de fer de Paris à Nantes dans la Loire-Inférieure, et l'établissement d'un port à Saint-Nazaire. Il eut, pour le chemin de fer, deux bons collaborateurs, MM. François Watier et Richard; les travaux furent bien et rapidement conduits.

L'étude des tracés présenta la question difficile de la jonction, à Nantes, de la gare principale à la gare maritime. Jégou proposa de développer les rails sur les quais plutôt que de contourner la ville. Il prévoyait l'avantage que l'on trouverait, lors de la construction du prolongement vers Saint-Nazaire, de pouvoir établir une gare de voyageurs dans l'intérieur même de Nantes. L'utilité de rapprocher les gares du centre des villes n'est plus mise en doute. A Nantes, du reste, l'avenir n'est pas engagé, et l'on pourra toujours faire un contournement pour les trains de marchandises et peut-être pour les express, si le mouvement dans la direction de Savenay prend une exten-

(*) Nort, Ancenis, Bourgneuf (Étier du Fresne).

sion qui impose de grandes gênes à la circulation sur les quais.

Nous parlerons plus loin des travaux exécutés par Jégou pour améliorer la navigation de la Loire.

Port de Saint-Nazaire. — Le premier projet pour ce port a été rédigé avec beaucoup de soin et d'habileté, en 1839, par M. Plantier, alors ingénieur de l'arrondissement de Savenay. A cette époque, il n'était question que d'un établissement maritime peu important. Les idées s'étant modifiées, il devint nécessaire d'étudier la construction d'un port considérable.

L'auteur de cette notice, qui avait remplacé M. Plantier comme ingénieur ordinaire, devait faire le nouveau projet; mais M. l'ingénieur en chef Cabrol avait arrêté un ensemble de dispositions qui lui paraissaient soulever de graves objections. En 1840, après plusieurs conférences, M. Cabrol déclara qu'il se réservait entièrement cette question. Plus tard, le ministre créa pour les études et les travaux de Saint-Nazaire, un service spécial qui fut confié à Jégou, sous la haute surveillance de M. Cabrol, nommé directeur.

Jégou reçut la dépêche le 18 novembre 1845. Il ne s'était pas occupé de Saint-Nazaire, et il savait que depuis 1840 l'ingénieur ordinaire de l'arrondissement améliorait peu à peu un avant-projet conçu dans des idées différentes de celles de M. Cabrol. Jégou lui demanda son concours et obtint de l'administration qu'il fût attaché à son service. Les deux ingénieurs se mirent promptement d'accord sur les dispositions principales des ouvrages et arrêtèrent ensuite tous les détails.

Leur projet consistait essentiellement dans la construction d'un bassin sur une vasière, qui devait être préalablement enlevée à la mer par une digue, et de deux jetées, comprenant un chenal d'accession de la mer aux écluses.

Sur nos côtes, principalement dans la baie de Bourgneuf et à Noirmoutiers, on élève à peu de frais des digues pour la renclôture des lais de mer. Les deux ingénieurs croyaient, par cette méthode, obtenir économiquement un batardeau général donnant de grandes facilités pour les travaux.

La construction d'un avant-port eût entraîné une grande dépense, et plus tard, eu égard à la nature vaseuse des eaux du fleuve, on n'aurait pu y entretenir qu'à grands frais la profondeur nécessaire.

Les seuls vents qui à Saint-Nazaire aient quelquefois de la violence sont ceux d'ouest et de sud-ouest ; ils déterminent dans la rade une assez grande agitation, mais ne produisent aucun ressac, parce que les vagues se développent librement dans la Loire. Celles qui s'avancent vers les écluses sont dues à une communication latérale du mouvement ; elles marchent contre le vent, qui les fait moutonner en arrière et diminue leur force. L'ingénieur ordinaire avait minutieusement observé ces détails pendant deux tempêtes, et était arrivé à la conviction qu'un avant-port n'était pas nécessaire.

Les deux ingénieurs signèrent le projet le 30 avril 1846.

Les conférences avec le génie militaire et avec les ingénieurs de la marine retardèrent la marche de l'affaire, qui n'arriva devant le conseil général des ponts et chaussées qu'au commencement de 1847.

La commission fut composée des trois hommes qui étaient parmi nous les plus hautes autorités pour les travaux maritimes, M. Minard, M. Frissard et M. Bernard. Leurs publications et les beaux ouvrages qu'ils ont construits à Flessingue, au Havre et à Toulon, sont assez connus pour qu'il soit inutile de faire leur éloge.

De vives critiques étaient faites au projet des deux ingénieurs. Les digues que l'on élève ordinairement pour la renclôture des relais sont moins élevées que celle qui était projetée pour Saint-Nazaire, et cependant la mer les coupe

quelquefois. La construction économique que l'on proposait présentait-elle des garanties suffisantes, ou ne devait-elle avoir pour résultat que de conduire, après divers insuccès, à la dépense très-considérable d'un batardeau avec encoffrement? D'un autre côté, le régime de la rade justifiait-il une aussi grande dérogation aux règles ordinaires que la construction d'un bassin à flot sans avant-port?

La commission proposait d'adopter le projet, mais sans dissimuler qu'elle n'était pas complètement rassurée. L'ingénieur en chef-directeur devait d'ailleurs combattre fortement l'établissement de la digue. Dans cette situation, on ne pouvait prévoir les résultats de la discussion.

Au Conseil, Jégou a été entraînant. Il a réfuté une à une toutes les objections qui étaient faites, et a montré l'impossibilité absolue d'adopter une autre combinaison, à moins de s'engager dans des dépenses excessives. Ce fut pour lui plus qu'un succès. Tous les doutes furent dissipés. Une question qui depuis trois ans pesait sur l'Administration, sans qu'elle sût comment la terminer, reçut une solution que les faits devaient bientôt complètement justifier.

La digue, commencée en mars 1847, a été coupée par la mer au mois d'août suivant, peu de jours après la fermeture des passages laissés libres pour le mouvement des marées pendant la première période de sa construction. Il fut possible de réparer promptement le dommage. Une fois consolidée, la digue n'a éprouvé aucune avarie sérieuse.

Sous sa protection, les travaux ont été exécutés avec facilité. On les a commencés en 1847, et ils auraient été terminés après un petit nombre d'années, si les circonstances politiques n'avaient empêché d'allouer des crédits suffisants.

Le bassin a été ouvert le 25 décembre 1856; l'opinion des marins s'est immédiatement prononcée. Saint-Nazaire est classé parmi les bons ports de l'Europe.

An commencement de 1850, M. Alexandre Watier avait

remplacé l'auteur de cette notice, comme ingénieur ordinaire. On lui doit, entre autres choses, l'emploi pour certaines fondations des procédés de havage, alors peu connus en France et qu'il a notablement perfectionnés.

Travaux divers dirigés par Jégou comme ingénieur en chef. — En 1853, Jégou réunit à ses autres attributions le service ordinaire de la Loire-Inférieure, et successivement dans les années suivantes le contrôle de plusieurs chemins de fer. Mais, en 1859, l'Administration créa pour ces chemins et pour Saint-Nazaire un service spécial.

En dehors des travaux que nous avons cités, Jégou a dirigé, comme ingénieur en chef, la reconstruction de deux ponts (*), de phares (**), de divers ouvrages pour améliorer des ports (***) ou dessécher des marais (****) ; des études de chemins de fer (*****) et le contrôle de compagnies concessionnaires (******).

Nous avons vu qu'il avait étudié la distribution, à Nantes, des eaux de la Loire. En 1854, la mairie traita pour la réalisation de cette entreprise avec une compagnie qui s'empressa de réclamer le concours de l'auteur du projet. Avec l'autorisation du ministre, Jégou accepta les offres qui lui furent faites, mais trop occupé pour pouvoir diriger les

---

(*) Reconstruction totale du pont de la Belle-Croix, partielle du pont de Pirmil, tous deux à Nantes sur des bras de la Loire.

(**) Reconstruction des phares d'Aiguillon, du Commerce et de Paimbœuf.

(***) Forme de radoub à Paimbœuf, prolongement du môle de Donges, jetées et ouvrages divers à Saint-Michel, à la Turballe.....

(****) Rétablissement de la levée de la Divate (vallée de la Loire), écluse de Pornic (marais de Haute-Perche), canal et écluse de Trignac (Grande-Brière).

(*****) Chemin de fer de Nantes à Redon.

(******) Construction du chemin de fer de Nantes à Saint-Nazaire et de six ponts à péage, exploitation du chemin de fer de Savenay à Châteaulin.

détails des travaux, il introduisit dans cette affaire M. François Watier (*) comme ingénieur ordinaire.

Jégou fit longtemps partie du conseil municipal de Nantes : il y était très écouté. Le conseil général lui donna plusieurs fois, et principalement en 1858, des témoignages de haute estime.

Promotion au grade d'inspecteur général. — Services à Paris. — Le premier décembre 1864, Jégou fut nommé inspecteur général. Par l'étendue de ses connaissances, son assiduité au travail, la facilité avec laquelle il savait exposer et discuter les questions les plus complexes, il acquit promptement une grande autorité dans le Conseil. Membre des commissions les plus importantes du ministère des travaux publics, directeur de l'École des ponts et chaussées, commandeur de la Légion d'honneur, il a obtenu les distinctions les plus élevées qu'un ingénieur puisse ambitionner dans sa carrière. Il s'est montré le digne continuateur des hommes illustres qui, à mesure que l'art s'étendait, développant l'instruction dans notre école, l'ont maintenue à la haute position que Perronet lui avait donnée (**).

Depuis quelques années, outre les élèves ingénieurs, l'École recevait des externes, mais cette mesure ne produisait pas des résultats considérables. Jégou l'a complétée, en faisant décider la création de cours préparatoires que les jeunes gens peuvent suivre en sortant du collège.

Jégou prend sa retraite. Résultats des travaux qu'il a

(*) M. Watier fut nommé ingénieur en chef et quitta Nantes avant l'achèvement des travaux. Jégou dirigea alors directement toutes les opérations.

(**) L'École des ponts et chaussées a eu pour directeurs : Perronet, Lamblardie, Chézy, Riche de Prony, Tarbé de Vauxclairs, Cavenne, Avril, Onfroy de Bréville, Léonce Reynaud, Jégou d'Herbeline et Chrétien-Lalanne.

exécutés sur la Loire. Son dernier mémoire. — Frappé, en 1877, par la limite d'âge, il se fixa dans la ville à la prospérité de laquelle il avait longtemps consacré ses efforts. Il continuait ses études et suivait avec intérêt le développement des travaux.

De 1843 à 1864, la Loire maritime a fait partie du service de Jégou. Il y a poursuivi l'exécution d'un système d'endiguement commencé par M. Lemierre. Dans un important mémoire, M. Carlier a fait connaître les résultats obtenus jusqu'en octobre 1866; mais depuis cette époque l'action continue des eaux, sous l'influence des travaux faits, a modifié la situation.

Les endiguements n'ont été établis que sur une longueur de 18 kilomètres à partir de Nantes. Leur effet a été une amélioration irrégulièrement progressive, qui a fini par dépasser les espérances primitives.

Au delà se trouve une partie d'environ 14 kilomètres de longueur sur laquelle aucun ouvrage n'a été construit, mais qui paraît cependant s'être modifiée d'une manière avantageuse, quoique tout à fait insuffisante.

En aval, on a élevé une digue entre deux îles pour diriger les eaux dans le bras de Carnet, qui longe la rive gauche et débouche devant les rades de Paimbœuf, où la profondeur diminuait d'année en année. Cet ouvrage a eu de bons résultats pour Paimbœuf; de plus, il a peu à peu déterminé dans le bras de Carnet de grandes profondeurs, qui sont actuellement sans utilité pour la navigation, parce que le chenal fréquenté par les navires suit la rive droite.

D'après les projets de Jégou, on devait prolonger l'endiguement dans la section intermédiaire de 14 kilomètres, la seule qui maintenant soit positivement défectueuse, et amener la navigation dans le bras de Carnet. Mais des objections ont été élevées.

On a dit que les attérissements qui se produiront probablement dans les bras non endigués, réduisant l'espace où

les eaux des marées pénètrent, diminueraient la puissance des courants pour maintenir les grandes profondeurs de l'estuaire; en second lieu, que les sables entraînés sur une grande longueur entre les digues, pourraient s'accumuler à leurs extrémités.

La conservation des excellentes conditions nautiques du port de Saint-Nazaire et de l'embouchure de la Loire est d'une telle importance, que le doute sur les conséquences des propositions de Jégou devait empêcher de les adopter. Le Conseil s'est prononcé pour la construction d'un canal latéral, depuis l'extrémité des endiguements jusqu'au bras de Carnet.

Jégou ne faisant plus partie du Conseil n'avait pu y défendre ses idées. Il a composé un mémoire pour combattre les objections qui leur avaient été faites et l'a adressé à l'ingénieur en chef de la Loire maritime, en demandant son dépôt dans les archives du service. Cette pièce présentera plus tard un grand intérêt. Quelles que soient les conséquences des travaux qui vont être entrepris, toute personne qui voudra connaître la question de la Loire, devra lire le dernier écrit du savant ingénieur.

Dans tous les cas, il importe de ne pas oublier que la partie de la Loire voisine de Nantes et le bras de Carnet, ont été mis, par ses travaux, dans un état satisfaisant.

Mort de Jégou; sa famille. — Les fatigues d'une vie entièrement consacrée au travail avaient altéré la forte constitution de Jégou. Des infirmités affligèrent ses dernières années. Il vit venir la mort avec la tranquillité que donnent à l'âme de profondes croyances et la sérénité du sage qui a accompli sa tâche, reçut les secours de la religion, et le 25 juin 1880, s'éteignit doucement au milieu des siens. Celui qui écrit ces lignes s'honorera toujours d'avoir été son collaborateur dans des circonstances difficiles, et son ami pendant quarante-cinq ans.

Jégou était né à Saint-Brieuc, mais il avait été élevé à Nantes, où son père, professeur de l'Université, avait été placé. Lui-même s'y était allié à une famille considérable ; il avait épousé M[lle] Laënnec, parente et filleule du célèbre physiologiste. Ses six enfants sont nés à Nantes ; l'un de ses trois fils suit la carrière qu'il a parcourue avec éclat.

Un décret du 17 février 1869 l'avait autorisé à joindre à son nom celui de sa mère, qui appartenait à la famille d'Herbeline actuellement éteinte.

Yves Jégou, aussi laborieux, mais moins robuste que son frère, fut beaucoup plus promptement épuisé. Il mourut à Vierzon, en 1845, ayant conduit avec fermeté, jusqu'à son dernier jour, un important service pour la construction de plusieurs chemins de fer.

Donges, 25 septembre 1880.

N° 63

NOTE

SUR

LES GLACES ET LA DÉBÂCLE DE LA SEINE

PENDANT L'HIVER 1879-1880

Par M. DE PRÉAUDEAU, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Les froids exceptionnels du mois de décembre 1879 ont produit dans le régime des rivières des perturbations profondes, causées par la formation, l'arrêt et la débâcle des glaces; et les observations que nous avons pu faire sur la Seine pendant cette période nous ont paru présenter d'autant plus d'intérêt, que les phénomènes analogues sont plus rares et qu'il faut remonter aux hivers de 1795 et de 1830 pour trouver le souvenir d'une débâcle aussi brusque, après une aussi longue période de froids rigoureux.

Froids exceptionnels de l'hiver de 1879. — La température du mois d'octobre 1879 avait été un peu au-dessous de la moyenne; le froid avait continué en novembre et s'était accentué dans les derniers jours de ce mois, lorsque, le 3 décembre, une bourrasque de l'Ouest produisit une baisse rapide du baromètre, dont le minimum fut observé dans la nuit du 4 au 5, à Paris. Une chute abondante de neige se produisit en même temps sur toute la France et atteignit, dans les environs de Paris, une épaisseur moyenne de $0^m,25$, qui a été dépassée dans d'autres parties du bassin.

Le froid devint rigoureux à partir du 7, et la température resta exceptionnellement basse jusqu'au 28 décembre.

A l'observatoire municipal de Saint-Maur, elle descendit

trois fois au-dessous de 20° (minimum 10 décembre, 24°,8), et la moyenne des maxima et des minima fut, pendant quinze jours sur vingt-un, inférieure à — 8°.

La température moyenne du mois de décembre étant de + 5°,7 à Paris, la moyenne des maxima et des minima, à Saint-Maur, s'est abaissée en décembre 1879 à — 7°,6, soit un écart de plus de 11° (*).

L'écart entre les températures extrêmes d'une même journée, au début de cette période, avait été, le 6 décembre, de 10°,10; la détente fut aussi brusque et produisit, le 29 décembre, un écart de 10°,7; la température moyenne resta ensuite très élevée pendant plusieurs jours jusqu'au 4 janvier (maximum 2 janvier, 8°,20).

Une autre particularité remarquable a été signalée pendant cette période exceptionnelle; c'est l'existence, au-dessus de la couche d'air froid, qui, pendant la deuxième quinzaine de décembre, maintenait la température des vallées extrêmement basse, d'un courant plus chaud, à quelques centaines de mètres d'altitude.

Au Puy-de-Dôme, du 17 au 22 décembre, il faisait de 17 à 21° *de plus* qu'à Clermont.

Au Pic-du-Midi, le thermomètre est monté chaque jour bien au-dessus de 0°, depuis le 19 décembre jusqu'à la fin du mois.

Au barrage des Settons, la température observée à 2 heures de l'après-midi a été supérieure à zéro du 18 au 29 décembre et a atteint + 10° le 24; la température minima de la nuit précédente ayant été de — 10°, il y a eu en ce point un écart de 20° dans les températures extrêmes d'une même journée.

Formation et arrêt des glaces. — Des glaces flottantes ont été signalées du 3 au 4 décembre sur tous les points

(*) Ces renseignements sont extraits d'un article publié par M. A. Angot, dans la *Revue scientifique*, N° du 17 janvier 1880.

de la Seine en aval de Montereau et ont arrêté la navigation.

Sur l'Yonne, les glaces se sont produites le 5 et la navigation s'est arrêtée le 6.

Du 11 au 15 décembre, la prise de la Seine est devenue complète entre le confluent de la Marne et Melun; le 17, elle a atteint Montereau.

Sur l'Yonne, les glaces se sont soudées en remontant à partir de l'embouchure, lorsque la Seine y fut complètement prise.

A Paris et en aval, les glaces s'étaient arrêtées du 10 au 14 décembre, sauf en quelques points particuliers, notamment aux abords de l'égout collecteur d'Asnières et dans le bras droit de la Seine, de Bezons au Pecq.

Le 19, la prise s'est effectuée au Pecq et a remonté jusqu'en amont de Bougival dans le bras droit.

Du 20 au 25 décembre, les glaces étaient presque continues, tant sur la Seine que sur ses principaux affluents.

Sur l'Yonne, prise complète aux environs d'Auxerre; quelques lacunes s'étendant rarement à toute la largeur du lit, entre l'embouchure de l'Armançon et Joigny.

Sur la Seine, en amont de Montereau, prise complète; en aval, quelques lacunes, notamment dans les points signalés des deux premiers biefs en aval de Paris.

Sur la Marne, prise complète, sauf à la traversée des barrages, dont la chute s'opposait à l'arrêt des glaces, sur une faible longueur en aval.

Sur l'Oise, les glaces flottantes avaient commencé le 4 décembre et la rivière avait été complètement prise, presque sans lacunes, dans la nuit du 4 au 5 décembre.

Sur la Basse-Seine, à Pont-de-l'Arche et en aval, certains points du bras navigable avaient résisté à la congélation, mais la glace était épaisse et continue dans tous les bras secondaires.

Sauf les différences locales produites par l'influence des

courants, l'épaisseur moyenne de la glace était à peu près la même sur toutes ces rivières. De Marcilly à Montereau, elle atteignait $0^{m},32$; sur la Basse-Seine, elle variait de $0^{m},15$ à $0^{m},37$; dans les environs de Paris, elle était en moyenne de $0^{m},25$, allant de $0^{m},20$ dans les courants vifs à $0^{m},30$ dans les bras morts.

Dégel et débâcle. — Le dégel a commencé du 28 au 29, très brusquement et dans toute l'étendue du bassin ; mais il n'a été accompagné que de pluies disséminées et peu abondantes. Elles ont été observées dès le 28 décembre au nord du bassin et ont produit du 28 au 31 décembre :

A Hirson (vallée de l'Oise), une hauteur d'eau de 48 millimètres.

A Sainte-Ménehould (vallée de l'Aisne), une hauteur d'eau de 14 millimètres.

Dans les vallées de la Marne, de l'Armançon et de l'Yonne, le dégel a été sec jusqu'au 30 décembre, et les pluies des 30 et 31 décembre ont produit une hauteur d'eau de moins de 10 millimètres dans les stations de Chaumont et de Vassy (vallée de la Marne), de Pouilly et de Montbard (vallée de l'Armançon) et de la Collancelle (canal du Nivernais, point de partage).

Aux Settons seulement, la hauteur aatteint 30 millimètres.

D'aussi faibles quantités d'eau n'auraient donné lieu qu'à des crues insignifiantes sans des circonstances atmosphériques exceptionnelles.

C'est donc le dégel seul qui, par la fonte des neiges accumulées sur le sol, a mis en crue toutes les rivières des bassins de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise, et a provoqué la débâcle des glaces de ces rivières qui sont arrivées en Seine : pour l'Yonne, à Montereau, le 1er janvier, à $8^{h},30$ du soir, et pour l'Oise, à Conflans-Saint-Honorine, le même jour à 11 heures du soir ; mais ces glaces, trouvant en ces deux points la Seine complètement prise, n'ont pas tardé à s'arrêter.

Débâcle de l'Yonne. — En amont d'Auxerre, la débâcle avait commencé dans la nuit du 31 décembre au 1er janvier; après un court arrêt aux ponts d'Auxerre, les glaces étaient descendues lentement, la montée étant faible, et n'avaient rejoint que pendant la soirée les glaces produites par l'Armançon et le Serein, qui s'étaient mises en mouvement de Laroche à Joigny, vers 10 heures du matin (1er janvier), et vers 1 heure de l'après-midi à l'embouchure du Serein.

Le départ des glaces s'était également produit dans la soirée du 31 décembre à Sens, mais elles s'étaient arrêtées en aval. Le lendemain, le flot de l'Armançon et du Serein, après un temps d'arrêt sans importance à Villeneuve-sur-Yonne et à Sens, forma un embâcle important au pont de Pont-sur-Yonne et sur un haut fond en aval ; puis, l'écoulement s'étant rétabli, le flot reprit sa marche, et, après s'être ralenti au pont du chemin de fer de l'Est (pont de Moscou), vint déboucher en Seine et ne s'arrêter qu'au milieu du bief de Varennes.

Débâcle de la Haute-Seine. — Sur la Seine, en amont de Montereau, la crue a commencé le 30 décembre; dès le 1er janvier, la débâcle s'est produite à Nogent-sur-Seine, mais elle n'a atteint Bray et Montereau que du 2 au 3 janvier, après le passage des glaces de l'Yonne.

Le 2 janvier, sous l'influence de la crue de cette rivière, la débâcle de la Haute-Seine descendait de Melun à Paris, avec des embâcles importants, à Corbeil et à Ablon, où les eaux ont dépassé le niveau de la crue de 1876, de 0m,46 à Corbeil et de 0m,41 à Ablon.

En même temps, la crue de la Marne mettait en mouvement les glaces de la traversée de Paris, en produisant des embâcles successifs, notamment au pont de Bercy, au Pont-Neuf et au pont des Arts, et la débâcle atteignait dans la soirée le pont des Invalides.

En aval et dans la même journée, les glaces s'étaient

mises en mouvement du Pecq à Maisons, et de Maisons à Poissy, puis, dans la soirée, de Paris à Suresnes, où leur écoulement dura jusqu'au lendemain matin.

Des embâcles s'étaient formés aux ponts de Maisons et de Poissy, le dernier seul persista pendant plusieurs jours.

Débâcle de la Marne. — Sur la Marne, c'est à Château-Thierry que la débâcle commence, dans la matinée du 1er janvier, sous l'influence de la crue locale, due notamment au Surmelin.

Mais ce n'est que dans la nuit suivante que les glaces se détachent simultanément sur des points très éloignés : Damery, 2 janvier, 2 heures du matin ; amont de Meaux, 3 heures du matin ; embouchure du Grand-Morin, 4 heures du matin.

Elles ne rencontrent pas d'obstacle jusqu'au bief de Noisiel, encore encombré par la débâcle locale.

Le 3 janvier, à 11 heures du matin, le flot passe à Neuilly-sur-Marne et s'arrête à Brie, où se produit une montée brusque de 2 mètres qui rachète la chute de l'écluse de Neuilly, et en ouvre les portes par l'aval.

L'écoulement se rétablit vers 2 heures de l'après-midi et produit un rabais d'une courte durée après lequel la crue reprend jusqu'au 9 et 10 jauvier.

Mais dans les points où les embâcles se sont formés, notamment à Neuilly-sur-Marne et au souterrain de Saint-Maur, la montée artificielle a dépassé de $0^m,90$ le niveau du maximun de la crue naturelle, qui ne se produira que sept jours plus tard.

Débâcle de la Basse-Seine. — Le 3 au matin, la débâcle de la Haute-Seine était arrêtée par la traversée des ponts de Paris, et notamment par le pont des Invalides ; le mouvement des glaces reprit à 9 heures du matin et dura toute la journée. Au flot produit par la rupture de l'embâcle d'Ablon (3 janvier, 7 heures du matin), avait succédé, quelques heures après, le flot de la Marne. Vers 1 heure

ces glaces étaient arrivées à Suresnes, où la Seine était libre depuis 3 heures du matin, et y avaient produit un flot de plus d'un mètre de hauteur, suivi d'un brusque rabais.

La montée ne fut pas moins brusque à Bezons; elle mit en mouvement dans la soirée du 3 janvier les glaces du bras gauche de Bezons à Bougival; et comme ces glaces, arrêtées par une passerelle en amont du barrage de Marly, interceptaient presque complètement l'écoulement dans le bras gauche, la crue a continué à Bezons jusqu'au lendemain matin.

La débâcle s'écoulait seulement par le bras droit et atteignait le pont de Poissy à 6 heures du soir (3 janvier); ce pont l'a retardée jusqu'au 4 dans l'après-midi.

A Meulan, le mouvement des glaces a commencé le 3, mais la débâcle n'a été continue qu'à partir du 4, vers 4 heures du soir.

Enfin, dans la nuit du 4 au 5, les glaces du bras gauche de Bezons à Bougival se sont écoulées, et les eaux ont repris leur libre cours sur tous les points de la Seine, en aval.

Le 6, tous les ponts étaient dégagés, et la rivière en baisse, au moins jusqu'à Mantes, où les glaces, après un mouvement commencé le 3 janvier à 7 heures du soir, s'étaient écoulées à partir du 5 janvier dans la matinée.

Débâcle de l'Oise.— Aucun incident n'est à signaler sur cette rivière; la débâcle a été générale dans la nuit du 1er au 2 janvier, sans arrêts notables des glaces en aucun point jusqu'à leur arrivée en Seine.

Considérations générales sur la marche de la débâcle. — Cette description permet de faire ressortir dès à présent deux points saillants du phénomène.

1° La débâcle commence en aval des confluents, dès qu'il se produit une crue de quelque importance sur l'un des deux affluents. Trouvant devant elle la rivière principale encore complètement prise, elle brise les glaces sur

une certaine longueur, mais leur résistance diminue progressivement sa vitesse et le mouvement s'arrête. Pendant ce temps, sous l'influence de la crue, la section d'écoulement augmente au confluent, la pente et la vitesse moyenne diminuent en amont sur celui des deux affluents qui n'est pas en crue ; un embâcle en résulte auprès du pont ou du haut-fond le plus voisin.

Ce sont les crues de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise, qui ont déterminé le premier mouvement des glaces de la Seine.

C'est un fait général, mis en lumière par les belles « Études hydrologiques » de M. Belgrand, que les crues de l'Yonne arrivent à Montereau, trois ou quatre jours avant celles de la Petite-Seine.

Les crues de la Marne et de l'Oise arrivent au contraire au confluent, le plus souvent après la première montée de la Seine.

En 1880, les débâcles de l'Yonne et de l'Oise seulement ont précédé celle du fleuve et ont produit des effets analogues à chaque confluent.

Ainsi la débâcle de l'Yonne produit des embâcles sur la Seine entre Montereau et Varennes, puis en amont de Montereau ; la débâcle de l'Oise s'arrête au pont de Poissy, et un embâcle se forme au pont de Maisons.

Des observations analogues ont été faites par M. Chanoine sur la Haute-Seine, à la suite des glaces de l'hiver 1854-1855, et résumées par une note dans les *Annales* (1855, 2e semestre).

Elles paraissent avoir le caractère d'un phénomène général, comme en témoignent les embâcles qui se sont formés sur la Saône en amont de Lyon et sur la Loire, à Port-Boulet en amont et à Saumur en aval du confluent de la Vienne.

2° Sous l'influence d'une crue rapide, la débâcle n'est pas un phénomène successif s'étendant de l'amont à l'aval,

à partir de chaque confluent. Les glaces sont d'abord soulevées et détachées des rives, la largeur au plan d'eau augmentant par suite de l'inclinaison des berges; elles se mettent ensuite en mouvement par grandes masses, jusqu'à ce qu'un obstacle naturel ou artificiel ralentisse leur marche et provoque leur dislocation. L'épaisseur de ces glaces est trop faible par rapport à leur surface, pour qu'elles puissent résister au choc contre les piles des ponts ou contre les sinuosités des berges ; il se produit des plissements dans la masse et des fractures à la suite desquelles les morceaux, animés de vitesses très inégales, se superposent et s'orientent en tout sens. La section d'écoulement est rétrécie par leur accumulation contre les obstacles qui les ont arrêtées, et il en résulte une crue locale, tout à fait accidentelle et anormale, à laquelle succède un flot brusque, lorsque par la surélévation des eaux le barrage des glaces est rompu.

Le même fait peut se produire simultanément sur divers points, indépendamment de l'action des affluents, et es flots successifs qu'il détermine, suivant qu'ils rencontrent des sections libres ou déjà embâclées, viennent ajouter leur influence plus ou moins dangereuse aux phénomènes locaux qui se sont antérieurement produits.

Par exemple, le pont de Poissy, situé en aval du confluent de l'Oise, a vu passer trois flots de glaces ; celles de l'Oise (1er janvier), celles de l'aval de Paris (2 janvier), celles de l'amont de Paris (3 janvier). Cet ouvrage est resté engagé pendant plus de 4 jours, parce que les glaces accumulées par chacun des flots successifs n'étaient pas écoulées lorsque le suivant est arrivé.

Dans ses Études hydrologiques, M. l'Inspecteur général Belgrand attribuait aux ponts une influence prédominante sur la formation des embâcles (chap. 18, p. 318).

Il en a été de même pendant la débâcle de 1880, mais les élargissements du lit, les coudes brusques et les hauts-

fonds peuvent également provoquer l'amoncellement des glaces, qui résulte en général des changements brusques dans la section et dans la vitesse d'écoulement.

Ces circonstances naturelles ont pu être antérieurement masquées par les embâcles des ponts ; l'augmentation des dimensions des arches permettra de plus en plus de reconnaître leur influence, qui a été signalée sur divers points de la Seine et de la Marne en 1880.

Quant aux barrages fixes ou mobiles, ceux dont la chute est faible au moment de la débâcle, ont peu d'influence sur l'écoulement des glaces ; quant à ceux qui conservent une forte chute, ils sont entourés d'une zone qui résiste à la congélation, mais à l'aval de laquelle les glaces s'arrêtent, à cause de la diminution de la vitesse moyenne et forment un embâcle.

Étude des échelles hydrométriques pendant la période des glaces. — Les observations hydrométriques rendent un compte plus exact des diverses phases du phénomène ; elles mettent également en évidence diverses conséquences intéressantes relatives aux hauteurs simultanées et aux pentes des biefs.

Pour cette étude, que nous présentons pour la partie de la Seine comprise entre le confluent de l'Yonne et Mantes, nous avons dressé le graphique des principales échelles, en rapportant toutes les hauteurs à un même plan de comparaison correspondant au zéro du nivellement général. La différence des ordonnées relatives à deux échelles consécutives représente donc la pente du bief qui les sépare, ou la chute de l'ouvrage dont elles dépendent ; et nous avons indiqué par des tracés différents les périodes correspondantes aux glaces flottantes ou arrêtées.

Crue apparente produite par l'arrêt des glaces (Pl. 32, *fig.* 3). — Le premier point à signaler est la crue apparente qui se produit à toutes les échelles avec plus ou moins d'intensité au moment de l'arrêt des glaces. Cette montée a

deux causes: d'abord l'augmentation du périmètre mouillé, puisque l'écoulement se fait comme dans un tuyau, au lieu d'avoir lieu à l'air libre, ensuite la diminution de la section réelle d'écoulement par rapport à la section apparente, à cause de la présence des glaces mal formées qui déterminent sur les bords des barrages partiels.

Sur un cours d'eau de peu de profondeur, sur lequel les glaces déterminent un barrage total, la montée des eaux au moment où elles s'arrêtent s'explique de soi ; lorsque la profondeur augmente, des phénomènes analogues se produisent, avec plus ou moins d'intensité, suivant les circonstances locales.

Du 10 au 19 décembre, alors qu'aucune circonstance atmosphérique, ni sur la Seine ni sur ses affluents, ne pouvait produire une crue, les eaux montaient de 2 mètres à Melun, de plus de 1 mètre à Port-à-l'Anglais, de $1^{m},25$ à Bougival et de $1^{m},15$ à Poissy.

Pendant le même temps, les eaux étaient en baisse à Suresnes, et stationnaires à Bezons (influence des zones libres de glaces).

Mais les barrages partiels, qui déterminaient cette crue apparente, devaient se modifier sous l'action de la montée des eaux, de même que le profil du lit aux abords ; aussi, après une montée très courte, un à deux jours vers l'amont (grandes pentes), trois à cinq jours vers l'aval (faibles pentes), un nouvel équilibre s'établissait par suite de modifications dans les pentes superficielles et dans les barrages de glaces, et les eaux se mettaient de nouveau en baisse jusqu'au 28 décembre.

Mais il est à remarquer que, sur tous les points, sauf aux abords de Suresnes et de Bezons à Bougival, c'est-à-dire dans toutes les sections entièrement gelées, les eaux n'ont pas baissé au-dessous du niveau qu'elles avaient atteint dans les premiers jours de décembre ; ce qui met en évidence l'influence retardatrice des glaces.

Perturbation dans les pentes superficilles. — A. *Pendant les glaces.* — L'arrêt des glaces, favorisé ou retardé par les circonstances locales, modifie profondément la répartition des pentes dans les différents biefs. En suivant sur le graphique les variations des pentes, on reconnaît les points où l'écoulement des eaux a été le plus gêné par l'arrêt des glaces, ce sont :

En aval du barrage de la Madeleine, le pont de Saint-Mammès et les hauts-fonds situés en aval de l'embouchure du Loing ;

Entre Lacave et Melun, le pont de Chartrettes ; en aval de Melun, le baissier du Mée et le pont du chemin de fer de Lyon ;

La traversée de Paris, où, le 10 décembre, la pente de Port-à-l'Anglais à la Tournelle s'était réduite à $0^m,08$, tandis qu'elle était de $0^m,65$ le 8 décembre et de $0^m,88$ le 15;

En aval, les ponts de Poissy, de Meulan et de Mantes.

Le tableau suivant met en évidence ces observations ; on n'a indiqué les pentes en chaque point que pendant les jours voisins du minimum, en mettant en regard la date de l'arrêt des glaces.

Tableau des pentes superficielles observées pendant la période d'arrêt des glaces.

ÉCHELLES de	DATE de l'arrêt des glaces.	PENTES TOTALES PAR BIEF. — MOIS DE DÉCEMBRE 1879. Dates												
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Varennes . . } en aval de Montereau.	17 décembre	»	»	»	»	»	»	»	»	1,07	1,06	**0,51**	1,22	1,22
Madeleine. . } en aval de Montereau.	17 id. . .													
Samois	16 id. . .	»	»	»	»	1,92	1,71	1,11	1,18	**0,67**	1,64	1,51	»	»
Lacave.	15 id. . .	»	»	»	1,89	1,86	**0,60**	0,90	0,88	1,75	»	»	»	»
Melun	11 id. . .													
Port-à-l'Anglais.	10 id. . .	0,71	0,65	0,49	**0,08**	0,68	0,70	0,82	0,88	»	»	»	»	»
Pont de la Tournelle (Paris).	10 id. . .													
Maisons.	16 id. . .	»	1,95	1,70	1,55	0,84	**0,80**	0,77	1,25	0,85	1,11	1,66	»	»
Poissy.	10 id. . .	»	1,45	1,55	**0,89**	1,61	1,65	1,65	»	»	»	»	»	»
Meulan	6 id. . .													

B. *Pendant la débâcle.* — Après l'arrêt complet des glaces, un nouveau régime s'établit jusqu'au 28 décembre; puis, sous l'influence du dégel, les glaces se soulèvent et subissent, sans se mettre en mouvement, une montée variable qui atteint en moyenne $1^m,60$ aux échelles de la Haute-Seine et $2^m,80$ à celles de la Basse-Seine.

Dans les premiers biefs, l'écoulement reste à peu près normal jusqu'en amont de Melun. En aval de cet ouvrage, des embâcles successifs retardent la propagation de la crue et en exagèrent la hauteur. Cet effet atteint son maximum entre Melun et Corbeil et la plus grande hauteur relative est atteinte à l'échelle du Coudray à $0^m,59$ au-dessus du niveau de la crue de 1876.

La pente superficielle entre le barrage des Vives-Eaux et celui du Coudray qui était, le 29 décembre, de $2^m,23$, se trouve réduite au moment du maximum (2 janvier) à $1^m,28$, après avoir été encore moindre pendant la période ascendante.

Des effets analogues s'observent dans le bief d'Ablon; les eaux s'élèvent à cette échelle à $0^m,41$ au-dessus du niveau de 1876, tandis que la pente d'Ivry à Ablon se réduit de $2^m,55$ (29 décembre) à 0^m40 (3 janvier).

En aval, par suite de l'influence retardatrice des ponts de Paris, et notamment du pont des Invalides, le flot de la Haute-Seine provenant de la rupture de l'embâcle d'Ablon, n'était pas écoulé, lorsque le flot de la Marne est arrivé au confluent. Cette coïncidence, aggravée par l'embâcle du pont des Invalides, a augmenté la hauteur et la rapidité de la crue au delà des prévisions du service hydrométrique; les eaux se sont cependant maintenues en moyenne à $1^m,10$ au-dessous du niveau de 1876.

L'encombrement momentané du bras de Bougival a relevé à Bezons la crue à $0^m,85$ en contre-bas du niveau de 1876; elle s'est ensuite atténuée jusqu'au confluent de l'Oise pour se relever en aval par suite de l'encombrement

des ponts de Poissy, de Meulan et de Mantes; la crue a encore subi une surélévation artificielle à la traversée de ces ponts, et à Meulan le niveau de 1876 a été de nouveau atteint.

Le tableau suivant résume les altitudes comparées des crues de mars 1876 et de janvier 1880, et les différences positives ou négatives en chaque point.

DÉSIGNATION des échelles.	1876	1880	DIFFÉRENCE en faveur de 1876	DIFFÉRENCE en faveur de 1880
Ecluses de Varennes	49,45	48,67	0,98	»
Ecluses de la Madeleine	48,59	47,25	1,34	»
Ecluses de Champagne	47,17	45,81	1,36	»
Ecluses de Samois	44,99	43,51	1,48	«
Ecluses de Lacave	43,28	42,17	1,11	»
Ecluses de Melun	41.24	40,37	0,87	»
Ecluses des Vives-Eaux	39,92	39,18	0,74	»
Ecluses de Citanguette	38,53	38,78	»	0,25
Ecluses du Coudray	37,37	37,96	»	0,59
Pont de Corbeil	35,89	36,35	»	0,46
Ecluses d'Ivry	35,54	34,99	0,55	»
Ecluses d'Ablon	34,15	34,56	»	0.41
Pont de Choisy-le-Roi	33,66	32,91	0.75	»
Ecluse de Port-à-l'Anglais	33,47	32,62	0,85	»
Pont de la Tournelle	32,79	31,68 (1)	1,03	»
Ecluse de Suresnes	29,97	28.30	1,67	»
Barrage de Bezons	27,64	26,79	0,85	»
Ecluse de Bougival	26,49	25,24	1,25	»
Ponts de Maisons	25,38	23,80	1,58	»
Ponts de Poissy	23,60	22,72	0,88	»
Ponts Meulan	21,99	21,99	0	»
Ponts Mantes	20,58	20,10	0,48	»

(1) Cote calculée faute d'observation faite au moment du maximum.

Ces chiffres montrent l'impossibilité d'appliquer à une crue de ce genre les règles ordinaires des prévisions, puisque, tant sur la Seine que sur les affluents, les hauteurs d'eau observées aux échelles dépendaient beaucoup moins du débit des rivières que des obstacles rencontrés par l'écoulement des glaces.

Profils instantanés correspondants aux différentes périodes. — Les profils instantanés (Pl. 32, *fig.* 1) accusent, d'ailleurs, pour chaque période, les variations survenues

dans la pente des biefs; ils sont groupés deux à deux pour faire ressortir les circonstances suivantes :

Profil des 6 et 15-18 décembre : crues apparentes produites par l'arrêt des glaces.

Profils du 29 décembre, 2-3 janvier : débâcle.

Profils du maximum et du 8 janvier : rétablissement du régime normal, rabais.

Comparaison avec les crues de 1866 *et de* 1872. — Si maintenant nous comparons les documents qui précèdent avec ceux qui ont été publiés par le service hydrométrique sur les crues antérieures de la Seine, nous serons conduits à rapprocher la crue de 1880 de celle de 1866, et à les mettre en parallèle avec celle de 1872 qui présente une allure beaucoup plus fréquente dans le bassin de la Seine.

Dans leur étude sur les crues du mois de septembre 1866 (*Annales* 1868, 2e sem., p. 235), MM. Belgrand et Lemoine ont fait ressortir comme il suit le phénomène caractéristique de cette crue :

« Une particularité remarquable de la crue du 29 septembre 1866, c'est d'avoir été produite par une seule crue des affluents. Non-seulement les débordements extraordinaires, mais même les grandes crües ordinaires de la Seine, à Paris, sont dues, le plus souvent, à une succession de crues des affluents, dont chacune arrive avant que la précédente ait cessé de faire sentir ses effets dans le partie inférieure du fleuve. »

C'est à ce point de vue que, malgré la différence des causes, la crue de débâcle de 1880 se rapproche de la crue d'automne de 1866.

Celle-ci avait été produite par des pluies torrentielles, succédant à une série de jours très-humides; celle-là, presque sans pluie, a été le résultat d'un dégel brusque; dans les deux cas, il n'y a eu qu'une seule montée des affluents.

En 1866, la crue avait été très forte dans les bassins de

l'Yonne, du Serein et de l'Armançon, voisins du bassin de la Loire, où les inondations étaient le plus graves; dans les bassins de la Marne, de l'Aisne et de l'Oise, les crues n'avaient rien présenté d'extraordinaire.

En 1880, au contraire, les crues du bassin de l'Yonne ont été sensiblement moindres, tandis qu'elles ont été plus fortes sur la Marne et sur l'Oise.

Et si les niveaux atteints en 1880 sont très voisins du maximum de 1866, à Paris, c'est moins par suite de l'égalité des débits que par la superposition anormale des flots produits par la rupture des embâcles.

La crue de janvier 1880 a été à Samois de $1^m,48$ et à Melun de $0^m,87$ au-dessous de la crue de mars 1876; à Corbeil, elle l'a dépassée de $0^m,46$, et à Ablon de $0^m,41$.

La Marne, à Chalifert, était en baisse le 3 janvier, après avoir atteint seulement la cote $3^m,20$, inférieure de $0^m,50$ à celle du débordement, et pendant ce temps, à Neuilly-sur-Marne, les eaux atteignaient la cote de $6^m,88$, supérieure de $0^m,26$ à la cote maxima de la crue de 1876, avec une surélévation artificielle d'au moins $1^m,30$.

Donc, tandis que le débit maximum, à Paris, aurait normalement dû résulter des débits correspondants aux cotes de Melun et de Chalifert, il a été réellement produit par les flots d'Ablon et de Brie-sur-Marne, artificiellement surélevés de 1 à 2 mètres.

En 1866, les pluies avaient été inégalement réparties, plus fortes dans le bassin de l'Yonne que dans les vallées des autres affluents; en 1880, les neiges sont tombées à peu près également dans tout le bassin, à l'exception de quelques points de la vallée supérieure de l'Oise, et l'influence des altitudes, signalée par M. Belgrand (*Annales* 1865, 2e sem.), mémoire cité, p. 271, a été moins sensible qu'elle ne l'est d'ordinaire pour la pluie.

Le tableau suivant indique, pour les stations citées p. 349 et 350, les hauteurs d'eau produites : en 1866 par les pluies

torrentielles; en 1879 par les neiges tombées du 1er au 25 décembre.

	ALTITUDE.	HAUTEUR D'EAU PRODUITE par les pluies : en 1866 (22-23-24 septembre).	HAUTEUR D'EAU PRODUITE par les neiges : en 1879 (du 1er au 25 décembre).
	mètres	millimètres.	millimètres.
La Collancelle	279	126	37
Les Settons	596	151	48
Pouilly	395	97	44
Montbard	218	104	19
Vassy	183	86	37
Chaumont (plateau)	330	82	47
Chaumont (vallée)	256	71	24
Sainte-Menehould	137	45	40
Hirson	196	69	110
Saint-Maur (observatoire hydrométrique)	39	39	33

Hirson est la seule de ces stations où la chute de la neige ait été considérable; il en est résulté une grande crue sur l'Oise, au moins égale, à Venette, à celle de 1872.

Le tableau suivant permet de comparer les crues de 1866 et de 1880 à certaines stations hydrométriques, en donnant pour chacune d'elles la valeur du maximum, ainsi que la durée et l'amplitude de la montée.

DÉSIGNATION des rivières et des échelles.	1866			1880			PLUS HAUTES EAUX observées depuis 1807	
	maximum.	montée totale.	durée de la crue.	maximum.	montée totale.	durée de la crue.	date.	hauteur
Yonne, à Clamecy	3,15	2,60	2 jours	1,42	1,02	2 jours	1836	3,86
Yonne, à Sens (Saint-Bond)	4,26	3,54	3,5 —	3,70	2,15	5 —	1876	4,35
Marne, à Saint-Dizier	3,15	2,41	4 —	3,90	3,16	4 —	1861	4,00
Marne, à Chalifert, 1re crue	2,92	2,22	2 —	3,20	2,79	3 —	1861	4,48
Marne, à Chalifert, 2e crue	2,56	0,88	5 —	3,59	1,12	5 —		
Seine, à Paris (Pont-Royal)	6,20	4,71	7 —	6,10	4,28	5 —	1876	7,30
Oise, à Hirson	»	»	»	3,60	3,03	3 —	»	»
Oise, à Venette	3,89	1,59	8 jours	5,87	3,61	8 —	1872	5,85
Seine, à Poissy	5,26	4,26	10 —	5,70	4,15	5 —	1876	6,58
Seine, à Mantes	6,26	4,44	8 —	7,19	4,29	6 —	1876	7,67

Il fait ressortir l'importance relative des crues de la Marne et de l'Oise, en 1880, et la rapidité de la montée surtout sur les affluents inférieurs et sur la Basse-Seine.

MM. Belgrand et Lemoine (mémoire cité, p. 240) ont donné le tableau des crues qui depuis 1732 ont donné lieu à une montée supérieure à 4 mètres, à Paris, en trois ou quatre jours environ, par suite de l'arrivée d'une seule crue des affluents supérieurs du bassin de la Seine.

La crue de 1880 en augmente la liste, que nous reproduisons en distinguant les crues de débâcles de celles produites par les pluies torrentielles.

Crues de la Seine où la montée, produite par une seule crue générale des affluents, a dépassé 4 mètres.

ÉPOQUE DES CRUES,	MONTÉE totale.	HAUTEUR à l'échelle du pont de la Tournelle.	OBSERVATIONS.
A. — Crues provenant de pluies torrentielles.			
Du 23 au 28 février 1784	4,55	6,15	(1)
Du 4 au 8 mai 1836	4.20	5,62	(2)
Du 23 au 29 septembre 1866	4,60	5,20	
B. — Crues provenant de débâcles.			
Du 30 au 31 janvier 1795	4,20	5,36	(3)
Du 25 au 26 janvier 1830	4,50	5,70	(4)
Du 30 décembre 1879 au 3 janvier 1880	4,70	5,40	(5)

(1) La Seine, qui ne marquait que $0^m,78$ le 23 février, était, dès le 25, à la cote $4^m,22$ et, le 28, à la la cote $6^m,15$.

(2) Le 4 mai, la Seine ne marquait, depuis plusieurs jours, que $1^m,50$; le 5 mai, elle atteignait la cote $4^m,90$; le 6, $3^m,20$; le 7, $4^m,75$; et enfin le 8 mai le maximum, $5^m,62$.

(3) Débâcle : la rivière était restée gelée du 26 décembre au 30 janvier.

(4) Débâcle : la rivière était restée gelée du 29 décembre au 25 janvier.

(5) Débâcle : la rivière était restée gelée du 10 décembre au 3 janvier.

Le maximum n'a pas été observé en 1880 au pont de la Tournelle; le chiffre de $5^m,40$ a été calculé au moyen des cotes de $5^m,60$ observée au pont d'Austerlitz et $6^m,10$ ob-

servée au Pont-Royal. Les cotes comparatives à ces trois échelles sont :

	1866	1880
Austerlitz.	5,40	5,60
La Tournelle.	5,20	5,40
Pont-Royal.	6,20	6,10

Il est à remarquer combien les chiffres de montée totale diffèrent peu, quelles que soient l'époque et la cause des crues comparées dans ces tableaux ; ils paraissent indiquer la valeur maxima du produit d'une crue unique des affluents supérieurs à Paris, bien qu'on puisse imaginer des pluies plus abondantes ou une accumulation de neige plus considérable, qui augmenteraient encore l'intensité d'une crue analogue. Cette remarque n'est donc que la constatation d'un fait ; c'est d'ailleurs une confirmation indirecte de la loi d'après laquelle les grandes crues extraordinaires, qui dépassent de plus de 1 mètre ces crues à montée unique, sont la résultante de montées successives des affluents.

Les grandes crues ordinaires sont également produites le plus souvent par des montées successives ; celle de 1872 en est un exemple comme le montrent les variations de la Marne à Saint-Dizier rapprochées de celles de la Seine à Mantes. La *fig.* 2, Pl. 32, en rapprochant cette crue ordinaire des crues exceptionnelles de 1866 et de 1880, fait ressortir la différence de leur formation.

Résumé. — En résumé, les glaces et la débâcle de la Seine observées en décembre 1879 et janvier 1880 ont donné lieu aux remarques suivantes.

Lorsqu'à la suite d'une période de froids intenses et continus, précédés ou accompagnés de neiges abondantes, la prise des rivières étant complète, il survient un dégel brusque avec élévation notable de la température pendant quelques jours, la fonte des neiges suffit à produire des

crues brusques sur les affluents et tend à provoquer une débâcle rapide des glaces. Des embâcles se préparent aux abords de chaque confluent, tant en aval par l'accumulation des glaces de l'affluent, qu'en amont, par la diminution de la pente du bief.

Les crues des affluents soulèvent en même temps les glaces sur tout le cours du fleuve et y déterminent des débâcles partielles qui peuvent être simultanées en divers points fort éloignés les uns des autres, et qui, s'arrêtant devant les obstacles naturels ou artificiels qu'elles rencontrent, y forment des barrages momentanés qui emmagasinent la crue.

Les flots produits par la rupture de ces barrages déterminent enfin la débâcle totale.

Pendant les glaces et lors de la débâcle, les pentes et le régime du fleuve sont profondément modifiés.

1° L'arrêt des glaces produit d'abord en chaque point par l'augmentation du périmètre mouillé et par la formation de barrages partiels le long des berges des crues apparentes plus ou moins élevées; un nouvel équilibre s'établit ensuite entre la résistance du fond ou des glaces en formation et les forces accélératrices dues à la nouvelle répartition des pentes et à l'augmentation de la hauteur d'eau. Il en résulte une baisse générale, mais qui n'atteint pas, dans tous les points où la prise est complète, le niveau antérieur à l'arrêt des glaces.

2° Pendant la débâcle, la hauteur et la vitessse de propagation de la crue dépendent beaucoup moins du débit de la rivière et de ses affluents que des embâcles qui se produisent et dont la rupture successive transforme en lâchures torrentielles l'écoulement normal de la crue.

Il suit de là que les maxima d'une crue de débâcle, en différents points, atteignent, par rapport aux crues ordinaires, des hauteurs variables, tantôt plus faibles, tantôt plus fortes, et que la vitesse de croissance d'une semblable

crue, aussi bien que sa hauteur, échappe à toutes les prévisions.

C'est, en réalité, la substitution du régime *torrentiel* au régime *naturel*, en considérant la rupture de chaque embâcle, soit comme la crue d'un affluent torrentiel, soit comme l'ouverture brusque d'un barrage mobile dont on ne pourrait prévoir ni l'emplacement, ni l'époque, ni la rapidité.

Les sinistres, qui sont la conséquence des débâcles brusques, rendent leur passage désastreux pour la batellerie et pour les riverains.

Mais ce sont des phénomènes exceptionnels, presque séculaires, parce que leurs dangers résultent d'un concours de circonstances heureusement rares dans nos climats :

1° Une longue période de froids intenses et continus, sans alternatives de dégel, avec de grandes chutes de neiges ;

2° Un dégel brusque, général, avec élévation notable de la température pendant plusieurs jours.

En 1880, dans le bassin de la Seine, ces coïncidences ont produit une crue très brusque, caractérisée par une montée unique des affluents, analogue à celle du 26 janvier 1830, très comparable, par sa forme et par sa hauteur à Paris, à la crue du 29 septembre 1866, bien qu'elle en diffère par deux points essentiels : d'abord par la différence des causes et des saisons, ensuite parce qu'en 1880 le bassin de l'Yonne n'a subi que des crues moyennes, tandis que celles de la Marne et de l'Oise ont été plus importantes.

Si, donc, dans l'histoire hydrologique du bassin de la Seine, les crues de 1872 et de 1876 peuvent être considérées comme des types de crues normales, les crues de 1866 et de 1880 doivent attirer l'attention comme des exemples remarquables de crues à montée unique, produites par les causes les plus dissemblables.

Les renseignements qui ont formé la base de cette étude ont été réunis tant par les différents services de navigation du bassin de la Seine que par le service hydrométrique. Nour prions MM. les Ingénieurs en chef de ces services de vouloir bien recevoir nos remerciements pour l'obligeance avec laquelle ils nous ont communiqué ces documents; nos camarades nous ont également prêté leur concours pour les compléter; et, au point de vue de l'hydrologie, nous avons eu recours à l'expérience de M. G. Lemoine, qui nous permettra de reconnaître tout spécialement la part qu'il a prise à notre travail, tout en nous laissant la responsabilité de nos conclusions.

Paris, le 10 mai 1880.

N° 64

NOTE

SUR

LES GLACES DE LA SAÔNE

EN 1879-80

Par M. A. PASQUEAU, Ingénieur des Ponts et Chaussées

PREMIÈRE PÉRIODE.

La Saône présente entre Lyon-Vaise et l'Ile-Barbe une mouille large et profonde qui sert de port général pour les radeaux et de chantier pour la construction des bateaux.

Dès les premiers jours du mois de décembre 1879, les glaces venant de l'amont s'amoncelèrent dans cette mouille, se soudèrent entre elles sous l'influence d'une température de 15 à 18 degrés au-dessous de zéro, et formèrent une vaste nappe de blocs enchevêtrés qui s'étendit rapidement sur 3000 mètres de longueur, entre la gare d'eau de Vaise et l'extrémité amont de l'Ile-Barbe. Cet embâcle englobait un certain nombre de bateaux et plus de cinquante radeaux rangés sur cinq et six rangs le long de la rive droite (*).

(*) A la suite de la débâcle de 1875, nous avions fait prendre un arrêté préfectoral qui prescrit aux radeaux de descendre au-dessous de Lyon dès que la température arrive à 5° au-dessous de zéro. Quelques propriétaires s'étaient conformés à cet arrêté sur nos

Notre premier soin fut d'ouvrir un chenal de 50 mètres de largeur et de 1 kilomètre de longueur pour *isoler les radeaux* du massif des glaces et tâcher de les faire descendre à l'aval avant la débâcle. Pour ouvrir ce chenal, nous avons employé concurremment les trois moyens suivants :

1° *Batelets à glaces.* — Des batelets en chêne, armés de fourrures en sapin sur leurs angles d'avant, étaient montés par des équipes de huit à dix mariniers et tirés au moyen d'un fort cordage de 50 mètres, par quinze ou vingt manœuvres commandés par des mariniers. Les batelets reculaient de quelques mètres et s'élançaient à toute vitesse contre la glace, sur laquelle ils montaient de la moitié de leur longueur. Les mariniers sautaient alors en cadence sur les avants de ces bateaux pour fendre la glace par leur poids, et ils leur imprimaient ensuite un balancement particulier pour provoquer le départ des banquises qu'ils avaient détachées. Dans les nappes de glaces locales de $0^m,06$ et même $0^m,10$ d'épaisseur, ces batelets détachaient d'un seul coup des banquises de plusieurs centaines de mètres carrés de superficie. Dans les massifs de 3 et 4 mètres d'épaisseur, ils servaient à provoquer le départ des glaces qui avaient été préalablement brisées par la dynamite et qui étaient retenues avec force contre le massif par le remous des eaux de la rivière. Ils faisaient aussi partir en dérive les blocs qui remontaient du fond et qui venaient en quelques secondes remplir l'extrémité amont du chenal après le départ de chaque banquise principale.

Ce moyen, très simple et très ancien, était également précieux pour provoquer le départ des embâcles de glaces flottantes, car la dynamite était sans effet sur ces embâcles

---

instances, mais les mariniers étaient rares, les eaux étaient basses et les gelées rigoureuses arrivèrent si vite que le plus grand nombre des radeaux dût rester au port des Mûriers entre les points D et E du plan ci-joint (Pl. 33, *fig.* 1).

quand elles n'étaient pas soudées entre elles au point de former un béton absolument compact.

Nous avons employé constamment cinq équipes de ce genre, dont quatre à Vaise et une aux Étroits.

2° *Remorqueur à vapeur.* — Nous avions en outre à Vaise, pendant cette première période, un fort remorqueur à aubes et à câble. Nous avions fait armer son avant au moyen de deux fortes tôles formant une étrave tranchante. Ce remorqueur ainsi armé se lançait à toute vapeur contre les glaces en faisant pénétrer son éperon dans les fentes déterminées par les explosions de dynamite. Il nous a rendu des services dans les massifs de 2 à 3 mètres; mais son emploi revenait à plus de 100 fr. par jour et ses aubes se brisaient constamment en frappant sur les banquises flottantes qui entouraient sa coque de toutes parts. Il nous a été plus utile pour dédoubler les radeaux préalablement décollés par la dynamite et les échelonner le long de la rive.

3° *Dynamite à faibles charges.* — Le troisième et le principal moyen dont nous nous sommes servi, c'était la dynamite. Dans cette première période, nous l'avons employée de la manière suivante :

Deux cartouches de dynamite n° 1, dont l'une portait une capsule triple et une mèche en gutta-percha de 2 mètres étaient ficelées à l'extrémité d'une perche. Une série de dix à douze trous étaient percés à la hache, suivant une ligne circulaire découpant une banquise de 25 mètres de longueur sur 6 à 8 mètres de largeur. Dans chaque trou, une perche à dynamite était placée comme l'indique le croquis ci-joint (pl. 33, *fig.* 4) et calée avec un bloc de glace de manière à placer la charge vers la face inférieure du massif compact. Les mèches étaient allumées en même temps et l'explosion presque simultanée des charges découpait une banquise dont on provoquait le départ avec

des leviers d'abord, et ensuite avec les batelets à glaces ou le remorqueur.

Pendant cette période, on dégelait la dynamite en plaçant les cartouches dans des sacs qu'on laissait trois ou quatre heures dans du fumier actif, ou en les rangeant dans des seaux chauffés à bain-marie avec de l'eau chaude obtenue au moyen de poêles ordinaires.

Souvent le massif présentait des blocs amoncelés sur $0^{m},50$ à 1 mètre, une couche de glace vive de $0^{m},40$ d'épaisseur, et enfin un véritable béton de blocs plus ou moins soudés descendant jusqu'au fond du lit (pl. 33, *fig.* 3). Nous étions obligés, dans ce cas, d'ouvrir à la pioche, jusqu'à la glace vive, une série de fossés pour placer les cartouches dans la nappe compacte du massif. Nous détachions ainsi des bandes de 2 mètres de largeur. Il eût été plus économique et plus rapide, comme nous l'avons vu plus tard, d'augmenter les charges pour éviter l'exécution des fossés.

A mesure que le chenal avançait, les radeaux étaient dédoublés et conduits par le remorqueur le long des quais d'aval, où ils étaient amarrés sur un seul rang dans les parties abritées contre le courant par les rampes du quai ou les coudes de la rivière. *On essaya de les conduire à l'aval de Lyon; mais on dut y renoncer, car ils présentaient sous leur face inférieure une couche de glace vive tellement épaisse, qu'ils restaient accrochés sur le fond par des tirants d'eau de près de 2 mètres, au milieu même de la Saône.* Le niveau de l'eau continuant du reste à baisser, beaucoup de radeaux furent mis à sec et durent rester au port des Mûriers. Nous fîmes battre des pieux de $0^{m},35$ à $0^{m},40$ de diamètre pour les clouer au sol et les couvrir par un épi très solide. Nous espérions que la débâcle, trouvant cette défense sur la rive droite et un chenal libre de 60 mètres de largeur sur la rive opposée, se porterait sur cette rive et respecterait les radeaux.

Débâcles du 3 et du 7 janvier. — En fait, rien ne put résister à la puissance irrésistible de la débâcle. Le 3 janvier, à 2 heures 1/2 du soir, sous l'influence d'une crue, *le glacier tout entier se mit en mouvement d'une seule pièce*, broyant absolument tout ce qu'il rencontrait sur son passage. Les blocs de glaces montèrent contre les rives en formant de véritables moraines latérales qui dépassèrent de plusieurs mètres les chemins de halage. Les bateaux furent réduits en mille pièces, les lavoirs flottants furent anéantis, les pieux furent rasés, les câbles de fer les plus solides furent coupés comme des fils par la force inouïe du glacier. Tous les radeaux violemment arrachés de la rive furent entraînés par le courant très rapide que la crue prenait à ce moment. Ils vinrent se briser avec fracas contre les ponts de Serin, du Palais, de Tilsitt et d'Ainay, et ils les obstruèreut entièrement ou en partie.

Après un parcours de 800 mètres, le glacier rencontra un haut-fond vers le milieu de la nouvelle rampe de Vaise, et il s'arrêta brusquement en présentant un front parfaitement normal à la rivière.

Le 7 janvier, vers 11 heures du matin, la masse entière de la « mer de glace », soulevée par une crue, fit un nouveau mouvement et descendit encore de 200 mètres à l'aval. La queue du glacier partit à la dérive et le nouveau front des glaces se fixa vers le pied de la rampe de Vaise à peu de distance de la position qu'occupait celui de la veille.

Résultats de la première période. — En 1875, quarante radeaux avaient été entraînés en un seul bloc par les glaces et étaient venus former devant le pont de Serin un enchevêtrement inextricable qui avait obstrué complètement le pont jusqu'à 500 mètres en amont.

En 1880, les obstructions des ponts ont été infiniment moins graves. Nous avons eu presque toujours une arche

libre au pont de Serin, et nous n'avons jamais eu plus de huit ou dix radeaux devant chaque point.

On voit donc que les travaux faits pendant cette première période ont été impuissants pour garantir les radeaux contre la force irrésistible du glacier, mais qu'ils ont eu pour effet de les obliger à partir *successivement au lieu de descendre en un seul bloc*, et qu'ils ont préservé le pont de Serin d'une obstruction qui eût été certainement plus grave encore que celle de 1875.

Si le même cas se représentait, nous referions un chenal pour isoler les radeaux ; mais, nous ne reculerions cette fois devant aucune dépense pour traverser *complètement* le glacier avant la débâcle, et nous réclamerions les pouvoirs les plus étendus pour envoyer immédiatement les radeaux pièce par pièce jusque dans le Rhône, malgré les vives oppositions que cette mesure soulèverait et la grave responsabilité qu'elle imposerait à l'administration envers les propriétaires de ces radeaux.

DEUXIÈME PÉRIODE.

Dégagement des ponts. — Quatre ponts avaient été obstrués par la débâcle partielle du 3 janvier ; il fallait donc avant tout les dégager. Le 4 janvier, à midi, la traversée de Lyon était dans la situation suivante.

Le pont de Serin était totalement fermé par des bois et des glaces.

Le pont du Palais avait ses deux travées extrêmes de rive gauche obstruées. La chute était faible et l'enchevêtrement ne descendait pas beaucoup au-dessous de l'eau.

Le pont Tilsitt avait toutes ses arches bouchées sauf l'arche extrême de rive gauche. Des débris de bateaux s'élevaient verticalement au-dessus des glaces.

Le pont d'Ainay avait toutes ses arches obstruées, sauf la dernière arche de rive gauche. Le 3, vers 11 heures du soir, de nouveaux radeaux étaient venus le frapper avec une violence extrême en produisant des détonations semblables à de vastes mines sous-marines. *Les chocs étaient tels que les radeaux s'étaient entièrement brisés et que leurs débris s'étaient dressés verticalement jusqu'à plusieurs mètres au-dessus du garde-corps.* L'enchevêtrement descendait presque jusqu'au fond du lit, et il formait une retenue de plus d'un mètre en amont du pont (Pl. 33, *fig.* 5).

Un embâcle de plus de mille pièces de bois s'était formée contre la rampe de la gare d'eau de Vaise, et menaçait de venir accroître les embâcles des ponts au premier mouvement du glacier (voir en E, Pl. 33, *fig.* 1).

Moyens employés. — Pour nous délivrer de ces innombrables pièces de bois qui avaient souvent plus de $0^m,60$ d'équarrissage et plus de 25 mètres de longueur, nous les avons :

1° ou tirées . . .
- 1° avec des hommes,
- 2° avec des chevaux,
- 3° avec des treuils,
- 4° avec des bateaux à vapeur;

2° ou coupées,
- 1° avec des haches,
- 2° avec des scies,
- 3° avec la dynamite.

Tirage des pièces. — Pour tirer une pièce de bois, il fallait commencer par la lier, ce qui était souvent difficile et dangereux dans de tels enchevêtrements et sous des chutes aussi fortes.

Des mariniers se filaient jusqu'à l'embâcle dans un batelet retenu par une forte ligne, en portant avec eux l'extrémité d'un câble dit « pelot » de $0^m,05$ à $0^m,06$ de diamètre et de 60 à 80 mètres de longueur. Ils choisis-

saient une pièce suffisamment dégagée et passaient autour de son extrémité un nœud simple avec le pelot dont ils clouaient le bout libre au moyen d'un *crampon de radelier* (Pl. 33, *fig.* 6). Ce moyen était sûr et rapide. D'autres préféraient planter à l'avance dans la pièce un *valet ou crochet de radelier* auquel ils accrochaient le pelot quand on le leur envoyait (Pl. 33, *fig.* 7). Ce moyen permettait de préparer une pièce pendant que le câble en tirait une autre, mais il était dangereux pour les pièces qui exigeaient un grand effort. Si en effet le valet avait lâché prise, ce qui pouvait arriver assez facilement, les hommes et les chevaux qui exerçaient à ce moment une grande traction, auraient été jetés violemment à terre et ils auraient pu se blesser grièvement. Les pontonniers n'employaient aucun de ces moyens. Ils préféraient lier la pièce avec 3 nœuds simples en cordages. Cette ligature était sûre ; mais elle était longue et difficile quand la pièce était très engagée.

Pour se débarrasser des radeaux pris dans l'enchevêtrement, *il fut presque toujours nécessaire de les démonter et de les tirer pièce par pièce en amont.* Ces bois étaient soudés entr'eux avec une force incroyable. Le moyen le plus rapide pour les décoller consistait à faire partir quelques cartouches de dynamite n° 1 sous les pièces et entre elles.

Le tirage à « tout homme » par des équipes de 15 ou 20 manœuvres était le plus expéditif. Il était bon principalement au début pour toutes les pièces de l'écheveau, qui n'exigeaient pas un trop grand effort. *Avec plus de* 20 *hommes sur la même corde, on arrivait au désordre sans résultat.*

Le tirage par chevaux était utile pour les pièces exigeant des efforts moyens. Il était rapide et principalement bon pour dépecer un radeau pièce par pièce. *Les chevaux de halage ou de radelier étaient seuls aptes à ce travail.* En 1875 nous avions essayé des chevaux d'omnibus et du train. Les chevaux se fatiguaient beaucoup et le travail n'avançait pas.

Le tirage avec des treuils à deux harnais était le plus puissant. C'était le seul qui réussissait bien vers la fin du dégagement pour tirer les grosses pièces qui restaient collées contre les piles sous de fortes chutes. Pour réussir, *il ne fallait pas tirer ces pièces par un bout perpendiculairement à leur longueur comme on était toujours tenté de le faire*, mais presque suivant leur axe en employant au besoin une poulie de renvoi fixée aux organeaux du quai. Les treuils faisant beaucoup de force, mais peu de chemin, nous reprenions la pièce avec un autre cordage à « tout homme », dès qu'elle était dégagée par le treuil.

Le tirage au bateau à vapeur nous a rendu quelques services au début. Nous avions 4 bateaux à hélice de la Compagnie des Mouches qui se tenaient à 60 mètres des ponts et qui entraînaient les pièces quand elles avaient été liées avec un batelet portant l'extrémité du cordage. Ces Mouches conduisaient rapidement les pièces vers les dépôts que nous formions sur les rives ; mais elles exerçaient une faible traction, et nous avons cessé de les employer après le tirage des bois qui flottaient devant les enchevêtrements principaux. Si nous avions eu un toueur fixe à vapeur, il nous aurait rendu de grands services.

Coupage des pièces. — Quand on arrivait à la fin du dégagement, il devenait dangereux et souvent impossible d'aller lier les pièces au milieu même de la chute et dans des enchevêtrements inextricables où chaque poutre était fortement coincée par plusieurs autres. A partir de ce moment, il fallait couper les pièces qui retenaient l'enchevêtrement.

En 1875, nous avons coupé beaucoup de pièces *à la hache.* C'était rapide mais dangereux. La hache glissait contre la glace et pouvait blesser les jambes des travailleurs. De plus elle les couvrait d'eau glacée, car les pièces étaient plus ou moins sous l'eau, et cela était plus dangereux encore pour la vie des hommes.

La scie dite « passe-partout » n'avait pas ces inconvénients ; mais les pièces étaient en général enchevêtrées de telle sorte qu'il était presque toujours impossible de s'en servir, car il aurait fallu scier tout le massif à la fois pour trouver la course nécessaire et couper les pièces au point où il était utile de les diviser (Pl. 33, *fig.* 5).

Ces deux moyens présentaient d'ailleurs un autre inconvénient très grave. Les hommes étaient obligés *de rester sur la pièce pour la couper*, et ils pouvaient être lancés sous l'eau ou assommés par les autres poutres, quand la pièce, suffisamment affaiblie, cassait brusquement sous la poussée des glaces et de l'eau qu'elle supportait.

Le véritable moyen à employer dans ce cas, c'était encore *la dynamite.* Un charpentier ou un couvreur descendait du pont avec une échelle de corde ; il perçait avec une forte tarière, trois trous dans la pièce en la traversant aux deux tiers, il plaçait dans chaque trou deux cartouches de nº 1 bien dégelées, dont une à mèche ; il mettait le feu aux trois mèches et remontait lestement sur le pont. La première capsule qui partait faisait détoner les six cartouches à la fois et la pièce était entièrement anéantie sur $0^m,30$ de longueur, quelle que fût sa grosseur. Au moment de la rupture, le charpentier était en sûreté sur le quai. De plus, l'ébranlement produit provoquait le départ spontané des glaces sous-jacentes et des pièces de peu de longueur. *Ce moyen est donc plus sûr et plus efficace que les précédents* (Pl. 33, *fig.* 8 et 9).

Les trous uniques étaient presque toujours insuffisants, même avec 4 cartouches. Quant aux colliers de cartouches, si souvent recommandés, nous les avons essayés en 1875, sans aucun succès. La pose du collier sous l'eau et contre d'autres pièces est presque toujours impossible, et quand on parvient à le placer, le manchon de glace entourant la poutre empêche cette dernière d'être coupée même avec

des charges de huit à dix cartouches pour une seule pièce (Pl. 33, *fig.* 5).

Dans un travail de ce genre, le choix des coupures à faire a une importance capitale. *Il faut couper les pièces par le milieu des arches, trancher d'abord les pièces d'aval qui portent sur les piles, et tâcher de trouver celles qui forment la clef de voûte de l'enchevêtrement. Quand on a trouvé et coupé ces clefs, tout part spontanément.*

A Serin et à Ainay, cela nous a parfaitement réussi. Quelques coups de dynamite bien appliqués ont coupé les clefs d'enchevêtrement, vers la fin du dégagement, et des embâcles de plus de 40 pièces qui auraient exigé plusieurs jours de travail par le tirage, sont parties d'un seul coup en dégageant complètement les arches qu'elles obstruaient.

Il faut enfin se garder de couper les pièces vers les piles tant qu'on n'a pas enlevé par le tirage tout ce qu'il est possible d'avoir par ce moyen. Si l'on cherche à couper trop tôt les clefs, les pièces d'amont se coincent et forment un nouvel enchevêtrement plus difficile que le premier.

Le pont de Serin et le pont de Tilsitt ont été dégagés par nos mariniers. Le régiment des pontonniers nous a prêté son concours pendant six jours avec le plus grand empressement pour dégager le pont du Palais et terminer le dégagement du pont d'Ainay.

Résultats. — En six jours, les quatre ponts ont été entièrement dégagés. Le dégagement de la rampe de Vaise a éte terminé vers le 15 janvier. *Plus de* 1100 *pièces de bois ont été tirées des embâcles, mises en radeaux et conduites en aval;* 325 *pièces environ ont été coupées ou envoyées à la dérive.*

A partir de ce moment la traversée de Lyon était libre et prête à recevoir la débâcle.

TROISIÈME PÉRIODE.

Chenal de la « mer de glace. » — La « mer de glace » de Vaise restait et devenait chaque jour plus menaçante. Elle commençait vers le milieu de la nouvelle rampe de Vaise, et elle s'étendait jusqu'à l'île Barbe sur une longueur de 2100 mètres.

Les blocs amoncelés qui la formaient s'étalaient en nappe vers l'aval et s'élevaient ensuite rapidement à 5 ou 6 mètres au-dessus de cette plaine, comme la moraine frontale d'un glacier débouchant sur le fond d'une vallée. Sur la rive droite, ils couvraient de plus de 2 mètres le quai de l'Industrie et la route de Collonges ; sur la rive gauche, ils atteignaient le niveau de la route de Fontaines qui *est à* 8^{m},80 *au-dessus de l'étiage.* Un massif d'une centaine de mètres cubes dépassait même de 3 mètres environ la chaussée de cette route (Pl. 33, *fig.* 2, 17 et 18).

Cube et dispositions du glacier. — D'après les profils que nous avons fait prendre depuis, le volume des glaces accumulées sur ce point n'était pas inférieur à **3** *millions de mètres cubes*, et il n'était pas *loin du chiffre de* **5** *millions de mètres cubes* indiqué dans nos premiers rapports.

La structure de ce massif différait complètement de celle que nous avons décrite en parlant du chenal de la première période. *La nappe de glace avait été disloquée et confondue avec les autres blocs.* La surface du glacier était tellement hérissée de blocs énormes qu'il n'était presque plus possible d'y circuler (Pl. 33, *fig.* 10). Les falaises de glace qui ont bordé le chenal longtemps après les travaux ont montré que cette masse était formée, comme un véritable *porphyre*, par des blocs de 10 à 12 mètres cubes accumulés

dans toutes les positions *et absolument soudés entre eux par une glace plus opaque, mais aussi dure*. On a vu par ces falaises que le massif portait presque partout sur le sol, qu'il avait généralement **6** *mètres d'épaisseur, et qu'il devait avoir jusqu'à* **12** *mètres en certains points.*

Les photographies faites pendant et après les travaux montrent bien cette disposition. Celle que nous avons tâché de reproduire par le croquis ci-joint (Pl. 33, *fig.* 11) a été prise, le 12 janvier, de la rive droite, dans la direction de l'Ile-Barbe. Sur la gauche, divers bateaux ont été rejetés par les glaces au-dessus du chemin de halage. Au premier plan, sur la droite, une large crevasse laisse voir l'épaisseur de la nappe supérieure du glacier, qui descendait en outre à 4 mètres au-dessous de cette première couche, comme l'indiquent les vues prises plus tard au même point.

Ce champ de blocs amoncelés couvrait entièrement le barrage de l'Ile-Barbe. Il dépassait de 2 mètres environ le terre-plein de l'écluse, et il cernait entièrement la maison des éclusiers.

Chute produite. — La Saône était complètement obstruée par ce glacier, et ses eaux débordaient en amont de plus de $0^m,50$ sur le chemin de Saint-Rambert vers le magasin des aiguilles. Cette nappe d'eau s'étant rapidement transformée en une nappe de glace vive, la circulation était devenue impossible sur ce chemin.

Le 9 janvier, l'échelle de l'Ile-Barbe aval marquait $\mathbf{8^m,07}$ *au-dessus de l'étiage de* 1874, et l'échelle de la Feuillée $\mathbf{4^m,30}$ au-dessus de ce même étiage.

Le glacier soutenait donc une chute de $\mathbf{3^m,07}$, *dont le remous s'étendait certainement au delà de Neuville.*

Danger pour Lyon. — Cette chute constituait un véritable danger pour la traversée de Lyon. Si le glacier avait cédé sous cette énorme pression et sous l'impulsion d'une

crue instantanée semblable à celle du 7 janvier, la masse entière des eaux retenues et des glaces accumulées se serait précipitée dans Lyon avec une vitesse effrayante, comme un véritable *mascaret* roulant des blocs énormes et broyant tout sur son passage.

Il était donc indispensable d'ouvrir sans aucun retard un chenal ou tout au moins une saignée dans ce massif pour tâcher de vider la retenue qu'il formait et prévenir le désastre qu'elle pouvait causer en faisant irruption dans la ville.

Malheureusement, la tâche était immense, et les difficultés à vaincre étaient telles qu'il paraissait presque impossible d'arriver à ouvrir un chenal sur toute la longueur de ce vaste glacier avant la rupture de la retenue par l'action spontanée de la température. Une dépêche télégraphique de M. le ministre des travaux publics *vint à propos dissiper toutes les hésitations*, et l'on se mit résolûment à l'œuvre pour attaquer le glacier par les moyens les plus énergiques et tâcher d'atténuer au moins la chute si le dégel ne permettait pas de l'annuler entièrement avant la débâcle.

Moyens employés. — Deux des moyens que nous avions employés pendant la première période étaient devenus *impraticables*.

Le massif des glaces avait une telle épaisseur et sa surface présentait un tel enchevêtrement de blocs accumulés *qu'il était devenu impossible de l'entamer par des batelets à glaces et d'y faire circuler les équipes nécessaires pour les employer au départ des glaces disloquées par la dynamite.* D'autre part, le patron du remorqueur à vapeur employé pendant la première période refusait, non sans raison, de risquer son bateau devant ce mur de glace, qui pouvait au premier mouvement l'écraser contre les ponts.

Dynamite à fortes charges. — La dynamite seule nous

restait; mais les charges de 2 et même de 15 cartouches de 100 grammes restaient presque sans effet dans des masses aussi compactes. Il fut donc nécessaire de modifier son mode d'emploi et de recourir *aux charges de* **2**, **3** *et même* **5** *kilog., qui étaient seules en état de vaincre les résistances considérables de ce nouveau massif.*

L'administration de la guerre avait mis gratuitement à la disposition du ministère des travaux publics 28000 kilog. de dynamite n° 3 de qualité inférieure qui étaient restés dans les magasins de l'État depuis l'époque où la fabrication de cette substance avait été rendue à l'industrie privée. Pour utiliser cet approvisionnement, nous avons employé principalement cette dynamite n° 3; mais nous avons dû pour cela *tripler les charges, amorcer avec des cartouches de n° 1, assurer l'étanchéité de nos enveloppes et dégeler complètement toutes les cartouches avant l'emploi.*

Après quelques essais, le chantier fut organisé de la manière suivante :

Atelier de « dégelage ». — Une locomobile de six chevaux, tenue en feu nuit et jour, sans aucune pression, nous fournissait en abondance de l'eau bouillante par son robinet de vidange. Cette eau était portée avec des seaux dans une série de cuviers en bois pour y maintenir une couche d'eau à 50 degrés environ. Des seaux en zinc remplis de cartouches étaient placés pendant deux ou trois heures dans ces cuviers, dont on entretenait la chaleur par de nouvelles additions d'eau bouillante. *Pour fermer les seaux et préserver les cartouches de la vapeur d'eau, un sac à demi plein de sciure de bois était bourré dans les seaux au-dessus des cartouches.* Ce mode de fermeture primitif est le plus simple et le plus efficace de tous ceux que nous avons essayés (Pl. 33, *fig.* 13).

L'atelier de « dégelage » comprenait un mécanicien, un chauffeur et une douzaine de manœuvres conduits par trois

ou quatre mineurs de profession. Il dégelait du n° 1 pour les amorces et du n° 3 pour les charges (*).

Amorçage. — L'atelier d'amorçage, installé dans un bureau provisoire, était composé entièrement de mineurs expérimentés et prudents. Les uns coiffaient les mèches de gutta avec les capsules triples ; d'autres ouvraient les cartouches de n° 1 et grattaient la dynamite avec un *morceau de bois* pour loger l'amorce ; d'autres enfin plaçaient les mèches amorcées dans les cartouches en tassant bien la dynamite autour de la capsule (Pl. 33, *fig.* 12).

Les cartouches amorcées étaient ensuite transportées avec précaution dans l'atelier des charges, établi dans une baraque en planches qui était isolée autant qu'il était possible des maisons voisines.

Préparation des charges. — Dans des pots en grès de 2 à 3 litres de capacité, des mineurs plaçaient des cartouches de n° 3 bien dégelées, en les rangeant debout autour d'une seule cartouche de n° 1 portant une capsule et une mèche.

Au début, nous fermions nos pots avec des bouchons de liège percés d'un trou à la broche et entièrement couverts ensuite de goudron. C'était long, cher et dangereux, car il fallait plusieurs poêles pour fondre le goudron en quantité suffisante. Ce mode défectueux de fermeture a été promptement abandonné et remplacé par le suivant :

(*) On peut éviter cette opération et faire détoner des cartouches non dégelées en employant des capsules très chargées qu'on serre fortement contre la dynamite. Ce moyen exige des soins particuliers et le maniement de la dynamite gelée n'est pas sans danger. Nous pensons donc qu'il est plus prudent de dégeler à l'eau chaude toutes les cartouches, quand on est obligé, comme nous, de faire employer précipitamment des quantités considérables de dynamite par des hommes qu'on ne connaît pas.

Un maçon prenait, *au moyen d'une truelle, du ciment à prise rapide gâché très ferme avec de l'eau chaude.* Il bourrait le ciment *sur* 0^{m},05 *d'épaisseur dans le goulot du pot, et, d'un coup de truelle, il lissait cette fermeture au niveau des bords de ce vase.* En une heure, le ciment devenait très dur, et la fermeture était absolument étanche. *C'était aussi simple que rapide* (Pl. 33, *fig.* 12).

Les pots terminés étaient placés dans des cuviers à eau chaude en approvisionnement et transportés dans des corbeilles d'osier sur le chantier à mesure des besoins.

Nous avons consommé par jour jusqu'à **1000** *kilog.* de dynamite répartis entre 6 à 800 pots. Dans ces conditions, les moyens ordinaires ne suffisent plus, et il faut organiser le travail *en grand comme dans une fabrique* pour préparer les charges en quantité suffisante. En pareil cas, l'organisation des ateliers pour la préparation des charges est la chose principale, et toute l'attention de l'ingénieur doit se porter sur ce point, *car un très petit nombre de mineurs expérimentés pourvus de dynamite à discrétion produisent plus d'effet, pour ce genre de travail, que des régiments entiers armés de pioches et de munitions insuffisantes.*

Principe de l'élargissement. — L'expérience nous a montré *qu'il est nécessaire pour avancer rapidement dans les glaces d'ouvrir un chenal très large occupant toute la largeur de la rivière.* Lorsque le chenal, en effet a 40 à 50 mètres seulement de largeur, les banquises qu'on découpe pour le prolonger sont coincées par les bords et partent d'autant plus difficilement que le chenal fait est déjà plus long. Si, au contraire, on élargit le chenal en même temps sur 100 mètres de largeur par exemple, *les ateliers d'élargissement ne gênent en rien l'atelier d'avancement, et ce dernier produit beaucoup plus d'effet utile, car il trouve toujours devant lui une large nappe d'eau qui facilite le départ des banquises qu'il découpe.*

Nous avons donc organisé le travail comme l'indique les croquis ci-joint (Pl. 33, *fig.* 14 et *fig.* 15).

Un atelier d'avancement A_1, circonscrivait un fer à cheval ABC, de 25 à 30 mètres de largeur sur 6 ou 8 mètres de profondeur, avec 8 à 10 charges de 1 à 5 kilog. préparées comme il a été dit ci-dessus. Ces charges étaient *placées généralement à 1 mètre en contre-bas de la surface dans des trous percés à la hache ou à la pince et bourrés ensuite avec des débris de glace.* Elles étaient allumées en même temps et par leur explosion presque simultanée elles découpaient *une banquise* ABC *de* 200 *et même de* 800 *mètres cubes* dont on déterminait le départ avec des leviers à cordes quand elle ne partait pas spontanément. Un second fer à cheval DEF prolongeait le chenal d'avancement en suivant toujours la ligne des plus faibles épaisseurs qui correspondait aux plus forts courants de fond. A mesure que le chenal d'avancement cheminait, quatre ateliers d'élargissement A_2, A_3, A_4 et A_5, travaillant sur les deux rives divisaient les masses latérales par des séries de pots, en banquises de grandes dimensions qui partaient généralement en dérive par le seul effet du courant. Le croquis ci-joint (Pl. 33, *fig.* 14) indique l'ordre des opérations simultanées, et la *fig.* 15 montre l'effet produit.

Division des banquises en dérive.—Les banquises avaient souvent de 30 à 50 mètres de longueur sur 10 à 20 mètres de largeur et 2 à 3 mètres d'épaisseur, c'est-à-dire *plus de* 1000 *mètres cubes de volume.*

Des mineurs s'embarquaient alors sur ces îles flottantes. Ils perçaient rapidement 5 *ou* 6 *trous à* $0^m,80$ de profondeur dans leur masse, ils plaçaient des pots de 1 kilog. dans chaque trou, allumaient les mèches et regagnaient la rive en batelet. *La banquise continuait à descendre au fil de l'eau*, et avant d'arriver au pont de la gare, *elle était divisée par l'explosion des pots* en morceaux assez petits

pour pouvoir passer sans difficulté par les arches du pont de Serin (Pl. 33, *fig.* 16).

Quand on arrivait à un seuil du lit, le massif des glaces adhérait au sol presque partout, et il fallait de grands efforts pour faire avancer le chenal d'une faible longueur. Ce n'étaient plus des bancs de glace à découper en banquises, mais *un véritable rocher qu'il fallait exploiter à la mine comme une carrière d'enrochements.*

Le travail cependant marchait vite. Nous avions *commencé le* 11 *janvier à* 3 *heures du soir et le* 18 *à la même heure, le chenal avait* 800 *mètres de longueur et* 100 *mètres de largeur moyenne.* L'épaisseur du massif de blocs étant certainement supérieure à 2 mètres, on voit que nous avions fait partir PLUS DE 160000 MÈTRES CUBES DE GLACE EN SEPT JOURS.

Pendant ce temps le glacier s'était serré par l'amont. Le 9, à midi, la tête du glacier était descendue subitement de 200 mètres. Ce mouvement avait complètement dégagé le barrage de l'Ile-Barbe, mais la « mer de glace » proprement dite avait reçu le choc de cette poussée sans faire aucun mouvement.

Affaissement de la terrasse d'amont. — Les principales *barres de fond* ayant été *coupées par les travaux* et la crue ayant diminué, *la chute s'était effacée en grande partie, et le niveau d'amont avait baissé de plusieurs mètres.* Le centre de la « mer de glace » suivit ce mouvement pendant que les massifs latéraux qui portaient sur le fond restaient sensiblement à leur hauteur primitive, et *le glacier dont tous les blocs supérieurs étaient à l'origine au même niveau, se creusa suivant une vallée profonde bordée de collines de* 5 *à* 6 *mètres de hauteur* (Pl. 33, *fig.* 19).

Le 11 janvier, bien que la température fût inférieure à zéro, les eaux de la rivière échancrèrent la tête amont du glacier suivant le point bas de la vallée, et elles formèrent un chenal étroit qui vint par l'amont à la ren-

contre du nôtre. Notre canal dont l'exécution était facilitée par la réduction de la crue continua de son côté à marcher rapidement, et il atteignit la borne 8k,200 neuf jours après avoir été commencé.

Ouverture définitive du chenal. — Enfin, le 20 janvier à 3 heures une dernière série d'explosions à fortes charges coupa la dernière bande de glace qui réunissait encore les deux rives à 300 mètres en amont de la borne kilométrique 8. Une Mouche à hélice qui se trouvait là se fraya aussitôt un passage au milieu des blocs, monta jusqu'au barrage de l'Ile-Barbe, et redescendit à Lyon pour annoncer cette heureuse nouvelle.

Effets du chenal ouvert. — A partir de ce jour tout danger de débâcle violente était conjuré. Un chenal de 80 mètres de largeur, cheminait *sur 2 kilomètres de longueur entre deux falaises de glace dépassant de 5 à 6 mètres le niveau de l'eau.* Ces falaises se découpaient spontanément *en tranches parallèles à la rive, par des crevasses béantes qui s'ouvraient subitement dans la longueur des massifs. Le courant les corrodait au pied comme des icebergs, et nous les faisions basculer dans la rivière avec quelques charges de dynamite placées dans les crevasses.* Bien que la saison fût avancée, le froid redoublait d'intensité. Il atteignait encore souvent 16° au-dessous de zéro et une *nappe de glace se formait chaque nuit dans le chenal.* Pour maintenir le passage ouvert, nous dûmes couper chaque matin cette nappe avec une Mouche à hélice, et conserver plusieurs équipes de mariniers qui brisaient les couches plus épaisses à mesure qu'elles se formaient.

Par ces précautions, nous avons pu maintenir le chenal libre depuis le 20 janvier jusqu'au dégel qui s'accusa nettement le 10 février, et faire évacuer vers le Rhône toutes les glaces provenant des embâcles assez considérables qui

se sont formés dans cet intervalle de temps en amont de l'Ile-Barbe.

La compagnie des Mouches et les bateaux à laver purent reprendre leurs services peu de temps après, bien avant le retour des températures suffisantes pour fondre les dernières glaces.

Résultats des travaux. — Pour se rendre compte de l'utilité des travaux qui ont été faits, il faut se demander ce qui serait arrivé si la « mer de glace » avait été abandonnée à l'action spontanée de la température et des crues de la Saône.

Deux cas pouvaient se présenter.

Si le dégel s'était propagé du *sud au nord*, la chute se serait effacée en partie, le glacier se serait appuyé partout sur le fond du lit, et il se serait fondu sur place sans se mettre en mouvement. La « mer de glace, » dans ce cas, n'aurait pas produit de débâcle violente ni de grands dommages ; mais elle aurait persisté pendant plusieurs semaines, *pendant plusieurs mois peut-être au delà du* 20 *janvier* (*). *Elle aurait condamné à l'inaction pendant ce temps la Cie des Mouches, la navigation de la Saône, les bateaux à laver et toutes les industries qui en dépendent.*

Si le dégel s'était propagé du *nord au sud*, la situation eût *été beaucoup plus grave.* La « mer de glace » soutenait une chute de 3m,07 et formait un véritable lac, qui s'étendait jusqu'à Neuville et qui retenait plus de 6000000 mètres cubes d'eau au-dessus du niveau d'aval. La fonte des neiges et des glaces de la Saône supérieure aurait déterminé une forte poussée qui, s'ajoutant à la pression produite par la chute déjà formée, aurait très probablement provoqué le soulèvement et le départ instantané de la

(*) On voyait encore des glaces sur les berges le 12 mars dernier; il paraît que les glaces, en 1829, persistèrent jusqu'au mois de juin.

masse entière du glacier. *Le flot produit par la rupture de cette digue aurait fait irruption dans Lyon avec une vitesse excessive, et les blocs de glace entraînés auraient balayé avec une irrésistible puissance tout ce qu'ils auraient rencontré sur leur passage.*

Les mouvements partiels éprouvés les 3 et 7 janvier donnent une faible idée de ce qui se serait produit.

Le 3, la Saône est montée de 1m50 en moins de cinq minutes à l'île-Barbe, et en quelques minutes le glacier est descendu de près de 1 kilomètre vers l'aval.

Le 7 janvier, un mouvement semblable a fait descendre le glacier de 400 mètres vers Lyon. Chaque fois les bateaux rencontrés ont été mis en pièces. Le 3, les laveuses du bateau Jacquet ont eu à peine le temps de se sauver au milieu des débris de leur lavoir; et le 7, plusieurs de nos mariniers ont vu leurs batelets écrasés sous leurs pieds avant d'être parvenus à en sortir. On voit donc que la débâcle aurait pu produire des accidents graves si une poussée plus forte était parvenue à lui faire franchir les écueils du pont de la Gare et à lui faire parcourir toute la traversée de la ville.

En résumé, les travaux ont eu pour effet, dans la première hypothèse, *d'abréger de plusieurs semaines le chômage de la navigation et les appréhensions des habitants;* dans la seconde hypothèse, *de garantir la traversée de Lyon contre les effets d'une débâcle violente qui aurait causé de grands dommages et peut-être un véritable désastre.*

Dépenses. — La dépense totale, qui est définitivement réglée, s'est élevée environ :

	francs
1° Pour le chenal de la première période, à.	12.996,80
2° Pour les ponts et la rampe de Vaise, à.	18.775,40
3° Pour le chenal de la « mer de glace », à.	30.434,05
Total.	62.206,25 (*)

(*) Ces chiffres s'appliquent seulement aux travaux décrits dans

Nous avons consommé, en outre, 4500 kilog. de dynamite n° 3 mise *gratuitement* à notre disposition par l'autorité militaire. Si nous n'avions pas reçu gratuitement cet approvisionnement de n° 3, nous aurions obtenu les mêmes effets avec 900 kilos de n° 1 coûtant environ 7200 francs.

NATURE ET MODE DE FORMATION

de la « Mer de glace ».

La « mer de glace », avons-nous dit, s'élevait rapidement en terrasse de l'aval à l'amont et se profilait en long sur le quai de rive gauche, comme l'indique le profil ci-joint (Pl. 33, *fig.* 2). La partie basse était percée de loin en loin par des trouées figurant des lacs de quelques mètres de largeur dans la masse des glaces. La partie haute était au contraire absolument compacte. Elle dépassait de 3 à 6 mètres le niveau de la partie basse.

On croyait donc généralement, et nous étions porté à croire nous-même, que l'épaisseur du massif, assez faible à l'aval, augmentait rapidement en allant vers l'amont, et que nos travaux, relativement faciles au début, allaient rencontrer des difficultés insurmontables en arrivant à la plaine haute de cette terrasse.

Les faits qui se sont produits depuis nous ont montré que la partie haute était au contraire la plus mince, et ils nous ont conduit à expliquer de la manière suivante la formation et la disposition des embâcles de cette nature.

La rivière se barre d'abord au niveau de l'eau, soit par

---

cette note. Ils ne comprennent pas les dépenses faites en aval de Lyon-Perrache par notre service, ni les dommages causés aux travaux du barrage que nous construisons à la Mulatière.

une nappe prise sur place, soit par la soudure des banquises venant d'amont. Quand une couche résistante de l'une ou l'autre espèce s'est ainsi formée, les glaces venant de l'amont passent *par-dessous* cette nappe et suivent sa face inférieure jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par un haut-fond, un rétrécissement ou tout autre accident du lit de la rivière. Dès qu'une obstruction plus ou moins complète s'est produite en MP, entre la nappe superficielle et le fond du lit, elle devient de plus en plus étanche par l'apport des nouveaux glaçons, et elle ne tarde pas à faire refluer l'eau d'amont jusqu'à un niveau CD notablement supérieur au niveau naturel AB du bief d'aval (voir Pl. 33, *fig*. 20).

Les glaces qui viennent de l'amont flottent dans ce bief surélevé. Elles viennent donc se souder contre l'embâcle à un niveau supérieur au niveau général de ce dernier, et elles forment ainsi un premier gradin, une première terrasse T sur la plaine basse de cet embâcle primitif. L'obstruction devenant de plus en plus complète, le niveau d'amont se relève de nouveau, les glaces qui arrivent se soudent à un niveau encore plus haut, elles forment un nouveau gradin T' qui se superpose au premier et ainsi de suite.

Le glacier n'est donc pas une masse compacte qui serait épaisse vers l'amont et mince vers l'aval, comme son profil extérieur semble l'indiquer, mais bien une sorte de demi-voûte très allongée, dont la culée, figurant l'embâcle primitif, porte sur le fond vers l'extrémité aval, et dont les voussoirs s'amincissent de plus en plus à mesure qu'ils approchent de l'extrémité amont du massif général des glaces.

Ce qui le prouve, c'est la facilité avec laquelle la « mer de glace » qui couvrait de 2 mètres le terre-plein du barrage de l'Ile Barbe, par son extrémité d'amont, est descendue de 200 mètres sans causer d'avaries notables à ce terre-plein. C'est aussi l'affaissement qui s'est produit, la

vallée qui s'est dessinée dans la moitié supérieure de l'embâcle quand notre chenal, arrivant par l'aval, est venu couper les différentes *barres de fond* que nous avons rencontrées. C'est enfin la rapidité avec laquelle les eaux ont découpé une échancrure dans cette terrasse et ont formé le chenal libre naturel qui est venu à la rencontre du nôtre jusqu'à la moitié de la longueur totale du glacier.

Nos travaux ont donc produit en fait beaucoup plus d'effet qu'il n'était permis d'en espérer au premier abord. En ouvrant le chenal sur la moitié aval de la longueur totale, *ils ont coupé l'embâcle dans ses œuvres vives.* Ils ont ouvert une bonde de fond qui a vidé le bief supérieur et ils ont provoqué l'effondrement de la croûte élevée, mais relativement mince, qui formait la terrasse supérieure de l'embâcle depuis l'établissement hydrothérapique jusqu'à l'Ile-Barbe. Ils ont par suite *déterminé la formation du chenal d'amont*, qui ne se serait certainement pas produite sous la seule action du dégel de quelques heures observé dans l'après-midi du 18 janvier. *Ce qui s'est produit là se produira toujours, selon nous, dans les embâcles de cette nature, et nous pensons qu'un chenal naturel s'établira toujours à l'amont, quand un chenal ouvert de main d'homme par l'aval aura coupé les nœuds qui retiennent la nappe supérieure de l'embâcle.*

CONCLUSIONS.

On voit donc qu'il ne faut pas, en pareil cas, se laisser effrayer par la hauteur et la longueur excessives de la terrasse supérieure du glacier. Il faut attaquer résolument l'embâcle par l'aval et ouvrir un chenal très large par les moyens les plus énergiques et les plus rapides. Il faut pour cela chasser avec des batelets les glaces mal soudées de la

queue d'aval, pétarder avec des cartouches doubles les nappes locales ou les massifs relativement minces, attaquer enfin vigoureusement les barres de fond avec la dynamite, en charges de 1 à 5 kilog. l'une, sans ménager les munitions et sans s'encombrer d'un personnel inutile.

En opérant ainsi, il y a tout lieu d'espérer qu'on arrivera promptement à couper les racines de l'embâcle, qui sont toujours dans la partie basse du glacier, vers l'extrémité aval du massif général des glaces, *et que la* « mer de glace » *tout entière disparaîtra ensuite comme par enchantement dès qu'on aura réussi par les travaux à supprimer l'obstacle qui en a déterminé la formation.*

Lyon, le 30 avril 1880.

ANNEXE N° 1.

HAUTEURS D'EAU AU-DESSUS DE L'ÉTIAGE
observées aux échelles de l'Ile-Barbe et du pont de La Feuillée.

DÉCEMBRE 1879.				JANVIER 1880.			
DATES.	ILE-BARBE, 8 heures matin.	LA FEUILLÉE, 8 heures matin.	CHUTE.	DATES.	ILE-BARBE, 8 heures matin.	LA FEUILLÉE, 8 heures matin.	CHUTE.
	mètres	mètres	mètres		mètres	mètres	mètres
1	5,01	4,36	0,65	1	1,25	0,70	0,55
2	4,66	4,08	0,58	2	1,92	1,47	0,45
3	4,14	3,62	0,52	3	3,77	2,74	1,03
4	3,50	3,09	0,41	4	6,02	3,65	2,37
5	2,88	2,57	0,31	5	6,07	3,77	2,30
6	2,98	2,67	0,31	6	6,25	3,92	2,33
7	2,90	2,61	0,29	7	6,42	4,23	2,19
8	2,45	2,13	0,32	8	7,62	5,00	2,62
9	3,77	1,57	2,20	9 { 8 heures	7,72	4,95	2,77
10	2,89	0,96	1,93	9 { midi (1)	8,07	5,00	3,07
11	2,76	1,21	1,55	10	7,87	5,04	2,83
12	2,72	1,37	1,35	11	7.65	4,85	2,80
13	2,66	1,49	1,17	12	7,19	4,58	2,61
14	2,57	1,50	1,07	13	6,71	4,19	2,52
15	2,57	1,55	1,02	14	6,07	3,75	2,32
16	2,52	1,54	0,98	15	5,41	3,25	2,16
17	2,29	1,43	0,86	16	4,57	2,76	1,81
18	2,22	1,36	0,86	17	4,06	2,20	1,86
19	2,02	1,24	0,78	18	2,39	1,87	0,52
20	1,85	1,09	0,76	19	1,93	1,72	0,21
21	1,74	1,00	0,74	20 (2)	1,77	1,58	0,19
22	1,65	0,94	0,71	21	1,09	0,99	0,10
23	1,57	0,89	0,68	22	0,95	0,89	0,06
24	1,52	0,87	0,65	23	0,97	0,89	0,08
25	1,37	0,83	0,54	24	1,11	1,01	0,10
26	1.40	0,79	0,61	25	1,05	0,99	0,06
27	1,32	0,74	0,58	26	1,05	0,99	0,06
28	1,27	0,68	0,59	27	0,97	0,88	0,09
29	1,17	0,63	0,54	28	0,93	0,85	0,08
30	1,31	0,68	0,63	29	1,65	0,80	0,85
31	1,22	0,64	0,58	30	1,69	0,77	0,95
				31	1,69	0,98	0,71

(1) Chute maximum de la troisième période. | (2) Date de l'ouverture du chenal.

ANNEXE N° 2.

TEMPÉRATURES MINIMA ET MAXIMA

constatées à l'observatoire de la Tête-d'Or à 2m,60 au-dessus du sol.

DÉCEMBRE 1879			JANVIER 1880.			FÉVRIER 1880.		
DATES.	MINIMA à 1 heure du soir le jour même.	MAXIMA à 8 heures du matin le lendemain.	DATES.	MINIMA à 1 heure du soir le jour même.	MAXIMA à 8 heures du matin le lendemain.	DATES.	MINIMA à 1 heure du soir le même jour.	MAXIMA à 8 heures du matin le lendemain.
1	—10,7	+ 0,2	1	+ 0,0	+ 4,8	1	— 8,7	+ 6,5
2	— 10,9	0,0	2	+ 0,4	+ 8,0	2	— 6,7	+ 3,8
3	—15,4	+ 0,3	3	— 1,5	+11,0	3	—10,0	+ 7,0
4	—15,4	+11,6	4	— 2,8	+ 3,2	4	— 9,2	+ 1,3
5	— 1,1	+ 5,5	5	— 1,0	+ 2,0	5	— 9,0	+ 9,0
6	— 9,6	+ 0,6	6	— 1,3	+ 0,3	6	—10,5	+ 6,5
7	—11,1	— 3,6	7	— 1,6	+ 0,1	7	—10,8	+10,0
8	—14,6	— 1,4	8	— 3,0	— 1,2	8	— 8,0	+ 4,2
9	—14,4	— 2,2	9	— 4,0	— 0,2	9	— 5,0	+ 7,5
10	—16,0	— 2,7	10	— 4,2	+ 1,1	10	+ 0,2	+ 7,0
11	—13,4	— 4,1	11	— 6,6	+ 5,1	11	+ 1,0	+15,5
12	—13,8	0,0	12	— 8,0	— 0,9	12	— 2,9	+16,4
13	—11,2	+ 3,8	13	— 9,3	— 0,6	13	— 3,4	+13,5
14	—10,6	+ 0,4	14	— 6,0	— 0,2	14	— 4,4	+12,9
15	—16,3	— 4,9	15	— 2,6	+ 2,5	15	— 4,3	+15,8
16	—14,1	— 5,0	16	—13,2	+ 0,5	16	+ 2,0	+11,2
17	—17,9	— 4,3	17	— 3,5	+ 1,4	17	+ 6,6	+13,0
18	—15,7	— 1,9	18	— 0,2	+ 4,8	18	— 2,7	+17,0
19	—15,7	— 2,8	19	— 4,3	+ 2,0	19	— 0,8	+20,7
20	—15,5	— 1,2	20 (2)	—13,5	— 1,6	20	— 0,1	+21,8
21	—14,9	+ 0,3	21	—16,3	+ 1,1	21	— 0,8	+22,5
22	—15,4	— 0,9	22	— 8,0	+ 1,7	22	— 0,7	+10,3
23	—16,0	— 1,2	23	—10,1	+ 2,1	23	— 3,3	+14,3
24	—15,1	— 1,2	24	— 9,6	— 2,1	24	— 1,3	+ 5,8
25	—16,3	— 3,2	25	—13,3	— 0,7	25	+ 2,7	+ 7,8
26	—16,4	— 3,6	26	—11,6	+ 1,3	26	— 0,1	+11,7
27	—18,0 (1)	— 4,2	27	—14,6	— 0,2	27	— 3,2	+10,1
28	—15,9	— 3,0	28	—15,0	+ 1,1	28	— 4,5	+20,2
29	—14,3	+ 3,0	29	—11,4	+ 6,5	29	— 1,0	+22,0
30	— 3,8	+ 5,3	30	—10,3	+ 6,9			
31	— 5,1	+ 8,1	31	—10,2	+ 7,4			

(1) Intensité maximum du froid. | (2) Date de l'ouverture du chenal.

Nota. — Les thermomètres minima et maxima n'indiquent pas les heures où les températures extrêmes se produisent. Les heures indiquées dans les titres des colonnes sont les heures des visites faites par l'observateur.

N° 65

RAPPORT

SUR

LES DIVERS SYSTÈMES DE SIGNAUX EN USAGE

ET L'APPLICATION

DES APPAREILS D'ENCLENCHEMENT

POUR LA PROTECTION DES BIFURCATIONS

Par M. E. HEURTEAU, ingénieur des mines,
Sous-chef de l'exploitation du chemin de fer d'Orléans.

L'Administration supérieure a demandé l'avis du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer sur les systèmes de signaux en usage sur les divers réseaux pour la protection des bifurcations, et notamment sur les dispositions mécaniques qui, au moyen d'enclenchements réciproques des disques de protection et des aiguilles, permettent d'éviter toute fausse manœuvre.

La note du service central était ainsi conçue :

« L'attention de l'Administration supérieure s'est portée « sur l'intérêt que présentait l'adoption par les diverses « Compagnies d'un système de signaux uniformes pour as- « surer le passage des trains aux bifurcations.

« Le système employé sur le réseau du Nord, et d'après « lequel le signal carré d'*arrêt absolu* ne donne la voie « libre que lorsque le levier est maintenu par l'aiguilleur « de la bifurcation, présente d'incontestables avantages, « attendu que, dans ces conditions, on est absolument « certain que deux directions ne sont pas ouvertes en « même temps.

« Un autre système (Saxby et Farmer), qui établit par

« des enclenchements une solidarité complète entre les « aiguilles et les signaux des bifurcations, est en usage « sur le réseau de la Méditerranée. Il rend également « impossible, *si les mécaniciens obéissent aux signaux*, « toute rencontre de trains sur ces points dangereux.

« Dans une question aussi grave, l'Administration supé- « rieure, avant d'adresser une communication aux Com- « pagnies, désire connaître l'avis du Comité de l'exploita- « tion technique sur le mérite des divers appareils employés « aux bifurcations.

« Le président du Comité est prié de nommer une sous- « commission qui sera chargée d'étudier les différents « systèmes et de rendre compte des résultats obtenus.

« Après avoir pris connaissance du rapport de la sous- « commission et en avoir délibéré, le Comité voudra bien « donner son avis sur les deux questions suivantes :

« 1° Convient-il de signaler aux Compagnies l'opportu- « nité d'uniformiser les systèmes de signaux destinés à « protéger les bifurcations?

« 2° Dans le cas de l'affirmative, quel est le système qu'il « y a lieu de recommander aux Compagnies comme garan- « tissant le mieux la sécurité publique? »

La sous-commission qui a été nommée (*), conformément à la demande de l'Administration supérieure, m'a fait l'honneur de me charger de rendre compte au comité du résultat de ses études, et de lui soumettre ses conclusions.

On désigne généralement sous le nom « d'*interlocking system* » les combinaisons mécaniques ayant pour objet de solidariser par des enclenchements les leviers de manœuvre d'un groupe d'aiguilles et de signaux, de telle sorte qu'il

(*) Cette sous-commission était composée MM. LUUYT, ingénieur en chef des mines, *président*; MARIÉ, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée; HEURTEAU, ingénieur des mines, *rapporteur*.

soit matériellement impossible de manœuvrer ces aiguilles et ces signaux dans des conditions autres que celles où la sécurité se trouve assurée. Tout en acceptant cette appellation, empruntée à la langue du pays où les systèmes d'enclenchement ont reçu dans les dernières années les perfectionnements les plus importants et les applications les plus étendues, il n'est pas inutile de rappeler, dès le début de cette étude, que c'est en France que ces systèmes ont pris naissance. Il y a vingt-cinq ans que la compagnie des chemins de fer de l'Ouest a fait les premières applications de l'ingénieux appareil imaginé par M. Vignier, et qui permet, ainsi que nous le démontrerons, de réaliser toutes les combinaisons d'enclenchements imaginables entre les leviers de manœuvre des mâts de signaux et des aiguilles. Le principe de cet appareil consiste à relier les leviers qu'on veut enclencher à deux séries de tringles métalliques qui se déplacent longitudinalement dans deux directions perpendiculaires, les unes percées de trous, les autres faisant office de verrous lorsque, pour certaines positions relatives des deux leviers, elles viennent s'engager dans les vides des premières.

La compagnie de l'Ouest applique aujourd'hui l'appareil Vignier en un grand nombre de points de son réseau, et notamment à toutes ses bifurcations. Les compagnies du Nord, du Midi et de Paris-Lyon-Méditerranée en ont également fait de nombreuses et utiles applications.

MM. Saxby et Farmer ont repris plus tard la même idée; mais ils l'ont très heureusement complétée en imaginant un système de transmission par tiges rigides qui permet de manœuvrer les aiguilles à grande distance. Ils ont pu ainsi concentrer dans un petit espace tous les leviers d'aiguilles et de mâts de signaux d'un groupe de voies assez étendu, et les réunir dans un même poste sous la main d'un seul aiguilleur. Il est alors facile d'enclencher ces leviers deux à deux, soit avec l'appareil Vignier, soit au

moyen de toute autre combinaison mécanique possédant les mêmes propriétés, de façon à assurer mécaniquement l'exécution de la consigne qui doit régler les manœuvres du poste d'aiguilleur.

Les dispositions adoptées par MM. Saxby et Farmer, très ingénieusement conçues et très complètement étudiées dans tous leurs détails, forment un ensemble très complet qui peut aujourd'hui servir de type pour toutes les installations du même genre. En Angleterre, leur application est aujourd'hui générale. En France, les appareils Saxby et Farmer ont été adoptés par les compagnies de Lyon, d'Orléans, du Nord et de l'Est, et ils ont reçu sur chacun de ces réseaux des applications importantes. Ils fonctionnent aujourd'hui : sur le réseau de Lyon, à Villeneuve-Saint-Georges, à Nîmes, à Moret et à la gare de Lyon-Guillotière; sur le réseau d'Orléans, à la gare de Paris et à la bifurcation de Brétigny ; sur le réseau du Nord, à Amiens et à Boulogne; sur le réseau de l'Est, aux bifurcations de Gretz et de Chalindrey. De nouvelles applications sont en ce moment en cours d'exécution ou à l'étude. La compagnie de l'Ouest, tout en restant fidèle au système d'enclenchement adopté dès l'origine par M. Vignier, en a modifié les dispositions pour le combiner avec la manœuvre des aiguilles à longue distance et avec la concentration du grand nombre de leviers de manœuvre sur la table d'enclenchement. Ces dispositions nouvelles ont été appliquées avec succès à la bifurcation de la ligne de Cherbourg avec celles de Courseulles et de Flers, à la sortie de la gare de Caen.

Pour se rendre compte des propriétés mécaniques de ces différents appareils, des conditions de leur installation et de la manière dont les différentes compagnies les appliquent pour la protection de leurs bifurcations, la sous-commission a successivement visité les installations du système Saxby et Farmer à Lyon-Guillotière, à Brétigny, à la gare de la compagnie d'Orléans à Paris, et à la bifurcation de Gretz,

ainsi que celles du système Vignier modifié à la gare de Caen; elle s'est transportée aux bifurcations de Pontoise, d'Ermont et de Viroflay pour étudier l'application de l'ancien appareil Vignier sur les réseaux du Nord et de l'Ouest. Nous devons faire connaître au comité les résultats ce cet examen.

Pour que notre étude soit complète, nous devons en premier lieu examiner et comparer l'organisation des signaux de bifurcation sur les différents réseaux. Nous rechercherons ensuite comment les systèmes d'enclenchement peuvent s'y adapter, à quelles conditions mécaniques ces systèmes doivent satisfaire, enfin comment ces conditions sont remplies dans les divers appareils soumis à notre examen.

I. — Examen comparatif des dispositions adoptées par les différentes compagnies pour l'organisation et la réglementation des signaux de bifurcation.

Les règlements des signaux de bifurcation en vigueur sur les différents réseaux se divisent tout d'abord en deux catégories bien distinctes, suivant l'usage qu'on y fait des appareils d'enclenchement, et suivant le rôle qu'on leur assigne. Les compagnies du Nord (*), de l'Est, d'Orléans et du Midi appliquent les mêmes règles à toutes leurs bifurcations, qu'elles soient ou qu'elles ne soient pas munies d'appareils d'enclenchement. Les signaux sont donc disposés, et la consigne de l'aiguilleur est formulée, de manière à assurer la sécurité indépendamment de tout appareil d'enclenchement; en introduisant ces appareils pour assurer mécaniquement l'exécution de la consigne du poste, on ne modifie pas cette consigne; on se donne seulement ainsi

(*) Depuis la rédaction de ce rapport, la Compagnie du Nord a décidé, en principe, que toutes ses bifurcations seraient munies d'appareils d'enclenchement, et elle a modifié, en conséquence, son règlement des signaux. Voir à ce sujet la note page 404.

un supplément de sécurité, en se mettant en garde contre les conséquences d'une erreur ou d'une négligence de l'aiguilleur. La compagnie de l'Ouest au contraire, ayant établi des appareils d'enclenchement à toutes ses bifurcations, a disposé ses signaux et rédigé ses règlements en tenant compte des propriétés de ces appareils et de la sécurité qu'ils procurent, et elle en a profité pour se donner de plus grandes facilités dans l'organisation du service. La compagnie de Lyon, qui transforme en ce moment ses signaux de bifurcation en généralisant l'usage des appareils d'enclenchement, applique aux bifurcations qui sont munies de ces appareils un nouveau règlement qui, comme celui de l'Ouest, fait reposer dans une certaine mesure la sécurité sur les propriétés de ces appareils.

Les règlements de la première catégorie, ceux par conséquent qui doivent assurer la sécurité, abstraction faite des appareils d'enclenchement, reposent tous sur un même principe, à savoir : *l'interdiction absolue de donner passage à deux trains à la fois sur les voies d'une bifurcation.* L'observation de cette règle assure évidemment la sécurité d'une manière complète; toutefois elle n'est pas théoriquement nécessaire, au moins sous cette formule absolue. S'il s'agit par exemple d'une bifurcation à double voie, il n'y a de danger de collision qu'entre deux trains abordant l'une et l'autre la bifurcation par le talon, ou entre l'un de ces trains et un train arrivant en sens inverse par la pointe des aiguilles et se dirigeant vers la voie de droite. Un train abordant la bifurcation par la pointe et se dirigeant vers la gauche peut au contraire passer sans danger en même temps qu'un train quelconque venant en sens inverse. Mais, s'il doit suffire d'une erreur de l'aiguilleur pour amener une collision, il importe avant tout de lui donner une consigne simple, facile à comprendre et à exécuter. Pour éviter tout malentendu, le plus simple et le plus sûr est d'interdire d'une manière absolue le passage simultané

de deux trains. On peut au contraire se départir de cette règle, si par des combinaisons d'enclenchement on rend toute erreur de l'aiguilleur impossible; on peut alors sans inconvénient lui donner une consigne plus compliquée, à la condition de traduire en quelque sorte mécaniquement cette consigne, de telle manière qu'en aucun cas on ne puisse donner aux signaux et aux aiguilles d'autres positions relatives que celles que la consigne autorise, et qui correspondent aux mouvements de trains pouvant s'effectuer sans danger de collision. C'est d'après ce dernier principe qu'est établi le règlement des signaux des bifurcations de la compagnie de l'Ouest, ainsi que le nouveau règlement de la compagnie de Lyon applicable seulement aux bifurcations munies d'appareils d'enclenchement.

Un second principe est commun aux règlements de signaux de bifurcation de toutes les compagnies, sauf celle de l'Ouest. Il consiste à couvrir constamment les trois branches d'une bifurcation par des mâts de signaux qui sont maintenus normalement tournés à l'arrêt, et qui ne doivent être ouverts que successivement, et dans les conditions prescrites par la consigne de l'aiguilleur, pour donner passage aux trains venant de l'une ou de l'autre des trois directions. La compagnie de l'Ouest distingue au contraire la direction la plus importante, qui est considérée comme la ligne principale, et qui est normalement ouverte au passage des trains. L'autre direction est seule fermée à l'état normal; elle ne doit s'ouvrir qu'après qu'on a disposé les aiguilles dans la position convenable, et après qu'on a fermé les signaux de la ligne principale de façon à couvrir le passage des trains de l'embranchement.

Les règlements des compagnies du Midi, du Nord, de l'Est et d'Orléans ne sont que des applications des deux principes que nous venons d'énoncer : *Interdiction absolue d'ouvrir la voie à deux trains à la fois. Fermeture constante des trois branches d'une bifurcation par des signaux*

maintenus normalement à l'arrêt. Mais ces applications diffèrent naturellement suivant les systèmes de signaux adoptés par les différentes compagnies et suivant les règles admises pour leur interprétation.

Pour nous rendre compte de ces différences, et pour en apprécier l'importance, nous devons analyser sommairement les prescriptions des règlements généraux des diverses compagnies qui sont relatives aux signaux de bifurcation.

1° *Réseau du Nord.* — Sur le réseau du Nord, chacune des trois directions d'une bifurcation est protégée par trois signaux :

Un signal fixe à damier vert ou *indicateur de bifurcation*, placé à 800 mètres de la pointe des aiguilles ;

Un signal carré d'arrêt absolu, doublé d'un pétard, et placé à 60 mètres en avant de la bifurcation ;

Un disque à distance, disposé de manière à couvrir les trains arrêtés à la bifurcation ;

Enfin des *indicateurs de direction* sont placés sur l'aiguille abordée par la pointe, et ils indiquent la direction pour laquelle l'aiguille est faite.

Les trois signaux d'arrêt absolu qui couvrent la bifurcation sont normalement tournés à l'arrêt. Les trois disques à distance sont, au contraire, normalement ouverts. En passant devant le signal fixe *indicateur de bifurcation*, le mécanicien doit, suivant les termes de l'ordre de service 1714, commencer aussitôt à ralentir de manière à être arrêté complètement au disque d'arrêt, si celui-ci est fermé. Si rien ne s'oppose au passage du train, l'aiguilleur attend, pour ouvrir le disque d'arrêt, que le train en soit arrivé à 100 ou 150 mètres ; le train franchit alors la bifurcation sans arrêt, mais avec une vitesse réduite qui ne doit en aucun cas dépasser 20 kilomètres pour les trains de

voyageurs et 10 kilomètres pour les trains de marchandises. Ces vitesses sont d'ailleurs contrôlées au moyen de deux poteaux, placés l'un près du disque d'arrêt et l'autre à 100 mètres au delà, et dont la distance ne doit pas être franchie en moins de 18 secondes pour les trains de voyageurs et de 36 secondes pour les trains de marchandises.

Pour compléter cette description succincte, nous devons ajouter que les disques d'arrêt absolu sont disposés de telle sorte qu'ils se tournent d'eux-mêmes à l'arrêt aussitôt que l'aiguilleur abandonne le levier de manœuvre. Cette disposition ingénieuse a été décrite par M. Brame, en 1867, dans son ouvrage sur les signaux de chemins de fer à double voie. L'aiguilleur étant obligé de maintenir le levier du disque pour tenir celui-ci ouvert, il lui est évidemment impossible de donner la voie à deux trains à la fois. La seule critique qu'on puisse adresser à ce système, c'est que l'aiguilleur, occupé au levier du disque, ne peut au passage du train maintenir l'aiguille prise en pointe; en réalité cela peut ne pas avoir de grands inconvénients, si la vitesse du train est effectivement réduite comme le prescrit le règlement; ce serait cependant une objection sérieuse contre l'application de ce système sur d'autres réseaux, tels que le réseau d'Orléans, où les règlements généraux prescrivent formellement de maintenir toute aiguille prise en pointe que franchit un train, si celui-ci se trouve à plus de 200 mètres de son point de départ. Un système d'enclenchement, rendant solidaire les leviers de manœuvre des trois disques de façon à ne permettre d'en ouvrir qu'un à la fois, remplirait d'ailleurs très simplement le même but (*).

(*) Postérieurement à la rédaction de ce rapport, la compagnie du Nord a fait approuver par l'Administration supérieure un nouveau règlement dans lequel il est spécifié que l'interdiction de donner passage à deux trains à la fois sur les voies d'une bifurcation ne s'appliquera plus à l'avenir aux bifurcations qui seront

2° *Réseau de l'Est.* — Les dispositions des signaux des bifurcations sur le chemin de fer de l'Est sont les mêmes que sur le réseau du Nord, sauf l'absence des signaux fixes indicateurs de bifurcation. Mais, contrairement à ce qui se passe sur le réseau du Nord, les disques avancés, aussi bien que les disques spéciaux d'arrêt absolu placés en avant des aiguilles, sont normalement tournés à l'arrêt sur les trois directions. Aux coups de sifflet qui annoncent un train, l'aiguilleur doit, si la voie est libre, effacer le disque avancé puis le fermer immédiatement après le passage du train; s'il y a plusieurs trains en vue, l'aiguilleur n'efface le disque avancé que pour un seul; les autres, *après s'être arrêtés aux disques avancés qu'ils ont trouvés à l'arrêt*, avancent lentement jusqu'au disque spécial. Dans tous les cas le train s'arrête à la bifurcation, avant de franchir le disque spécial que l'aiguilleur ne doit ouvrir qu'après que le train s'est arrêté. Le règlement des bifurcations de la compagnie de l'Est est donc plus rigoureux que celui du Nord; il en diffère sur deux points importants : 1° tous les trains sans distinction s'arrêtent avant de franchir les bifurcations; 2° un train qui doit trouver la bifurcation fermée est arrêté une première fois par le disque avancé avant de l'être définitivement par le disque spécial, tandis que sur le réseau du Nord le mécanicien, à qui il n'est d'ailleurs pas prescrit de marquer l'arrêt à l'aiguille, mais simplement de se rendre maître de sa vitesse, arrive jus-

---

munies d'appareils d'enclenchement. — Les disques de ces bifurcations doivent être munis de crans d'arrêt, de façon à permettre leur effacement simultané dans certains cas. Toutes les aiguilles prises en pointe doivent être munies de verrous. — Enfin l'emplacement des signaux a été également modifié. L'indicateur de la bifurcation doit être placé à 800 mètres, et le disque à la distance de 1.200 mètres, non pas de la pointe des aiguilles, mais du disque carré d'arrêt absolu; cette dernière distance est portée à 900 ou 1.300 mètres quand la voie présente une pente égale ou supérieur à 4 millimètres.

qu'à moins de 150 mètres de l'aiguille avant de savoir si le passage lui sera permis ou refusé.

3° *Réseau de Paris-Lyon-Méditerranée.* — La compagnie de Lyon applique, ainsi que nous l'avons dit, deux règlements de signaux différents à ses bifurcations, suivant que celles-ci sont ou ne sont pas munies d'appareils d'enclenchement. Ce dernier cas deviendra d'ailleurs le cas général, la compagnie de Lyon se proposant d'étendre l'application du système Saxby et Farmer à toutes ses bifurcations.

Les bifurcations ordinaires sont protégées sur chacune des trois branches par un sémaphore; celui-ci est précédé d'un *signal d'avertissement fixe*, éclairé la nuit, placé à 1,200 mètres des aiguilles et sur lequel est écrit le mot *bifurcation.* Des poteaux portant l'inscription *arrêt* en caractères éclairés la nuit sont placés à 100 mètres en avant des sémaphores ; ils indiquent le point que le train ne doit pas franchir, si le sémaphore est à l'arrêt. Des disques avancés sont disposés de façon à protéger les trains arrêtés aux abords de la bifurcation ; comme sur le réseau du Nord, ces disques sont normalement ouverts. En passant devant le signal fixe d'avertissement, le mécanicien doit ralentir sa marche et être en mesure de s'arrêter complètement s'il trouve le sémaphore à l'arrêt. Dans le cas contraire, le train poursuit sa marche; mais sa vitesse au passage de la bifurcation ne doit pas dépasser celle d'un homme marchant au pas. Cette organisation est, on le voit, presque identique à celle des bifurcations du réseau du Nord, sauf la dernière prescription relative à la vitesse maximum des trains au passage des bifurcations. Cette prescription est plus rigoureuse sur le réseau de Lyon que sur le réseau du Nord.

Quant aux bifurcations du réseau de Lyon munies d'appareils d'enclenchement, leur organisation est un peu plus complexe. Chaque branche de la bifurcation est protégée :

1° par un signal carré d'arrêt absolu normalement fermé, et placé à 100 mètres en avant des aiguilles; 2° par un signal à distance, également fermé à l'état normal, et placé à la distance voulue pour protéger les trains arrêtés à la bifurcation; 3° par un signal fixe d'avertissement portant le mot *bifurcation* éclairé la nuit, et placé près d'un poste dont le garde est chargé d'annoncer par des signaux électriques à l'aiguilleur de la bifurcation l'arrivée des trains et des machines ainsi que leur direction. Ce poste est ordinairement placé dans la station qui précède la bifurcation. Les signaux électriques sont échangés au moyen d'appareils Tyer, modifiés d'une manière très ingénieuse par M. Jousselin, inspecteur principal chargé du service télégraphique sur le réseau de Lyon, de façon à permettre, en plus de la transmission des signaux ordinaires du Tyer, l'annonce de la nature des trains, de leur destination, et des manœuvres qu'ils peuvent avoir à exécuter sur les voies que commande l'aiguilleur de la bifurcation. Enfin un sémaphore, placé près des aiguilles de la bifurcation, remplit l'office de signal d'indicateur d'aiguilles. Sur les trois branches de la bifurcation tous les signaux sont normalement tournés à l'arrêt, quand aucun train n'est annoncé; l'aiguilleur, recevant l'annonce d'un train, prépare les aiguilles et les signaux pour le recevoir; si la voie est libre, le train trouve tous les disques ouverts devant lui, et il franchit la bifurcation avec une vitesse réduite qui ne doit pas dépasser 20 kilomètres. Si, au contraire, la voie n'étant pas libre, le train doit s'arrêter à la bifurcation, il trouve d'abord le disque avancé à l'arrêt; le mécanicien doit alors mettre son train à la vitesse d'un homme marchant au pas; puis il s'avance lentement et avec la plus grande prudence, de manière à pouvoir toujours s'arrêter dans la partie de voie qui est en vue, s'il se présente un obstable ou un nouveau signal. Il s'avance ainsi, s'il ne rencontre aucun obstacle sur sa route, jusqu'au signal d'arrêt absolu. Il ne se

remet en route que lorsque ce signal est mis à voie libre. Cette organisation se rapproche donc de celle de la Compagnie de l'Est et diffère au contraire de celle de la Compagnie du Nord sur un point, à notre avis, très important, à savoir que les trains qui doivent trouver la voie fermée à la bifurcation sont arrêtés une première fois par le disque à distance, avant d'arriver jusqu'au disque d'arrêt absolu placé en avant des aiguilles.

Les appareils d'enclenchement de la bifurcation sont disposés de manière à satisfaire aux conditions suivantes :

1° Un signal carré d'arrêt absolu ne peut être mis à l'arrêt qu'après que le disque à distance correspondant a été préalablement mis dans la même position, ce dernier pouvant d'ailleurs être maintenu à l'arrêt quand le signal carré est mis à voie libre ;

2° Chacun des signaux carrés placés du côté du talon des aiguilles ne peut être mis à voie libre que quand les aiguilles sont faites pour donner passage aux trains ou machines provenant de la direction à laquelle s'adresse ce signal carré ;

3° Enfin les signaux carrés sont enclenchés entre eux et avec les aiguilles, de telle sorte qu'ils ne peuvent jamais donner passage simultané à deux trains dans des conditions dangereuses.

Ces conditions étant réalisées, il est évident que toute fausse manœuvre par le fait de l'aiguilleur devient impossible, et qu'aucune collision ne peut se produire, à la condition toutefois que les signaux soient respectés par les mécaniciens.

4° *Réseau d'Orléans.* — Le système de signaux de la compagnie d'Orléans ne comporte pas la distinction admise sur tous les autres réseaux entre les disques d'arrêt absolu et les disques à distance, ces derniers ne commandant que

l'arrêt relatif, et pouvant être franchis avec certaines précautions et dans certaines conditions de vitesse. Tous les signaux d'arrêt commandent l'arrêt absolu, et sur la double voie ils sont toujours doublés de pétards; le mécanicien qui les aperçoit doit prendre immédiatement toutes les mesures nécessaires pour que le train soit complètement arrêté dans le plus bref délai et, s'il se peut, avant le point où se trouve le signal.

Les bifurcations sont couvertes dans les trois directions par un signal avancé qui, comme nous venons de le dire commande l'arrêt absolu, et par un signal fixe de ralentissement placé à 500 mètres au delà du disque à distance. En outre, un mâtereau manœuvré par le jeu de l'aiguille prise en pointe indique au train arrivant par le tronc commun pour quelle direction la voie est faite.

Les trois disques sont en principe tournés au rouge, sauf celui qui correspond à la direction du train attendu. A l'approche d'une bifurcation, les mécaniciens annoncent leur train par des coups de sifflet prolongés. Lorsqu'ils trouvent la voie ouverte, ils obéissent au signal fixe de ralentissement en diminuant la vitesse d'une manière marquée avant d'arriver aux aiguilles, et en restant maîtres de leur vitesse; au passage des croisements, celle-ci doit ne pas excéder la moitié de la vitesse normale du train sans être jamais supérieure à 25 kilomètres. Lorsqu'ils trouvent la voie fermée, ils doivent arrêter leur train le plus tôt possible, et, s'il se peut, avant d'atteindre le mât de signal. Le train arrêté ne doit se remettre en marche qu'après que le signal d'arrêt a été supprimé; pendant son stationnement il est couvert, soit comme un train arrêté en pleine voie par un conducteur qui se porte à 800 mètres en arrière, soit au moyen d'un mât spécial dont le levier de manœuvre est placé au pied du mât à distance et qui est manœuvré par le chef de train.

Dans ce système, le nombre des mâts de signaux ma-

nœuvrés par l'aiguilleur de la bifurcation se trouve donc réduit à trois; les trains qui trouvent la voie libre passent sans arrêt avec un simple ralentissement; ceux auxquels la voie est refusée sont arrêtés par les mâts à distance, et ils sont retenus loin des abords de la bifurcation.

5° *Réseau du Midi.* — Sur le réseau du Midi, comme sur celui d'Orléans, les bifurcations sont simplement couvertes sur les trois directions par trois mâts à distance tournés normalement à l'arrêt. Mais sur le Midi ces signaux à distance ne commandent pas l'arrêt absolu. Le mécanicien qui, aux abords d'une bifurcation, trouve le disque avancé à l'arrêt, doit seulement se rendre maître de sa vitesse, et avancer jusqu'à ce que son train soit couvert, c'est-à-dire au delà du poteau qui indique la limite de protection du disque; puis il continue sa marche en se faisant précéder d'un agent porteur d'un signal. Il avance ainsi jusqu'à la bifurcation, qu'il ne doit franchir que sur la vue d'un signal à main vert présenté par l'aiguilleur. Lorsqu'à l'approche d'une bifurcation le mécanicien trouve le disque à distance ouvert devant lui, la conduite qu'il doit tenir dépend de la direction suivie par le train. A chaque bifurcation, on distingue une ligne principale et un embranchement. Les trains de la ligne principale, lorsqu'ils trouvent la voie libre, franchissent la bifurcation avec un simple ralentissement et sans arrêt, sur la vue du signal à main vert présenté par l'aiguilleur; tous les trains de l'embranchement doivent au contraire marquer l'arrêt avant la bifurcation, et ne la franchir que sur l'autorisation de l'aiguilleur.

6° *Réseau de l'Ouest.* — Comme nous l'avons dit, l'organisation des signaux de bifurcation sur le réseau de l'Ouest diffère essentiellement de celle des autres réseaux. A chaque bifurcation on distingue une direction principale sur laquelle

les trains circulent librement, et une direction secondaire normalement fermée; de plus, toutes les bifurcations sont munies d'appareils d'enclenchement qui permettent d'autoriser des passages simultanés de trains sur les croisements. Cette double condition entraîne la nécessité de faire pour chaque bifurcation une consigne spéciale. Nous décrirons, à titre d'exemple, les dispositions adoptées pour la protection des trains au passage de l'embranchement de Viroflay rive droite (voir le diagramme, *fig.* 4, Pl. 34).

La ligne principale est celle de Paris-Saint-Lazare à Versailles rive droite. L'embranchement de Viroflay s'en détache vers la gauche de la voie descendante de Paris-Versailles. La bifurcation est protégée du côté du talon des aiguilles, sur chacune des directions de Versailles et de Viroflay rive gauche, par un disque d'arrêt absolu à pétards doublé d'un disque à distance, et du côté de la pointe, dans la direction de Paris, par un simple disque à distance sans signal carré. Un signal fixe d'avertissement à damier blanc et vert, destiné à prévenir les mécaniciens de l'approche de la bifurcation, est adapté à chacun des disques à distance, qui sont normalement ouverts; il en est de même du disque carré de la direction de Versailles; le disque carré de la distance de Viroflay est au contraire tourné normalement à l'arrêt. Un signal indicateur de direction fait connaître aux mécaniciens des trains venant de Paris la position de l'aiguille prise en pointe.

Il ne peut évidemment se produire de collision qu'entre un train venant de Viroflay et un train venant de Paris et aiguillé vers Versailles, ou bien entre deux trains venant l'un de Viroflay et l'autre de Versailles. Les autres mouvements peuvent s'effectuer simultanément sans danger. Pour rendre les collisions impossibles, l'aiguille qui relie la voie descendante venant de Paris à la voie descendante du raccordement est conjuguée par un enclenchement avec le signal carré n° 6 destiné à arrêter les trains venant de Vi-

roflay, de telle sorte qu'on ne peut ouvrir ce signal carré qu'après avoir disposé l'aiguille de façon à diriger sur l'embranchement de Viroflay les trains venant de Paris. D'autre part, le signal carré de la direction de Viroflay est lié par un enclenchement avec le disque carré n° 2 et avec le disque avancé n° 4 du côté de Versailles, de telle manière qu'on ne puisse donner passage à un train venant de Viroflay qu'après avoir préalablement fermé les deux disques qui protègent la bifurcation du côté de Versailles. Enfin le disque carré n° 6 de la branche de Viroflay et le disque à distance n° 1 du côté de Paris sont aussi conjugués par un enclenchement, de telle sorte qu'on ne puisse ouvrir le premier qu'après avoir fermé le second.

Les mâts de signaux étant disposés comme nous venons de le dire, et les aiguilles de la bifurcation étant faites normalement pour la direction Paris-Versailles, les trains de la ligne principale peuvent circuler librement sans être arrêtés par aucun signal; les mécaniciens devront seulement, en passant devant le signal fixe indicateur de bifurcation adapté aux mâts avancés, modérer leur vitesse pour franchir les croisements avec une vitesse réduite. Les trains venant de Paris et se dirigeant vers Viroflay trouvent également la voie libre. Dans ce cas l'aiguilleur, prévenu de l'approche du train et de sa direction par les coups de sifflet du machiniste, devra faire l'aiguille pour la direction demandée. En interrogeant le signal indicateur de direction, le mécanicien reconnaîtra si l'aiguille est bien faite pour la bonne direction. Quand bien même d'ailleurs cette aiguille se trouverait faite pour une autre direction que celle que le train doit suivre, elle pourrait être dépassée sans danger. Enfin, si on doit donner passage à un train venant de Viroflay, on ne peut le faire qu'après avoir fermé le disque carré n° 2 et le disque avancé n° 4 du côté de Versailles, ainsi que le disque avancé n° 1 du côté de Paris. Dans ce cas, les trains qui pourraient venir de Versailles, rencontrant le disque

avancé à l'arrêt, s'avanceraient avec prudence et viendraient s'arrêter avant la bifurcation au pied du signal carré; les trains venant de Paris rencontreraient seulement le signal à distance à l'arrêt, et ils s'avanceraient avec prudence jusqu'à la bifurcation, pour s'y arrêter ou pour continuer leur route suivant qu'ils se dirigeraient vers Versailles ou vers Viroflay; ces trains ne courraient d'ailleurs aucun risque de collision, puisque, dans le cas que nous envisageons, le disque carré n° 6 de Viroflay étant ouvert, l'aiguille doit nécessairement se trouver faite de manière à diriger vers Viroflay les trains venant de Paris, ce qui peut toujours se faire sans danger. Dans tous les cas, la sécurité est donc complètement assurée.

Il résulte de l'exposé que nous venons de faire que les règles adoptées pour la protection des trains au passage des bifurcations présentent des différences importantes lorsqu'on passe d'un réseau à un autre.

D'après les dispositions de l'article 37 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, qui sont relatives aux bifurcations, les mécaniciens doivent modérer leur vitesse avant d'aborder un croisement, de telle manière que le train puisse être complètement arrêté avant d'atteindre le croisement si les circonstances l'exigent; en outre, au point d'embranchement doivent être disposés des signaux indiquant le sens dans lequel les aiguilles sont placées.

Nous pouvons constater que ces prescriptions sont régulièrement observées par toutes les compagnies. Plusieurs d'entre elles vont même au delà de ce que prescrit l'ordonnance de 1846, en ce qui concerne l'obligation de réduire la vitesse au passage des bifurcations; c'est ainsi que sur le réseau de l'Est tous les trains doivent s'arrêter en avant de la bifurcation avant d'obtenir la permission de la franchir.

Quant aux signaux destinés à protéger les abords des

bifurcations, nous avons vu en quoi diffèrent les solutions adoptées par les différentes compagnies. Ces différences portent, non seulement sur la forme même des signaux, mais encore sur la nature et sur la signification des ordres qu'ils transmettent aux agents des trains.

Il s'agit d'assurer efficacement la sécurité de la circulation des trains sur ces points dangereux, et d'un autre côté il importe de le faire aussi simplement que possible, sans surcharger le service, et sans entraver la circulation par des mesures de précaution superflues. En pareille matière, il est difficile de poser des règles absolues, et il convient de respecter, dans une certaine mesure, la liberté d'appréciation des ingénieurs à qui incombe la responsabilité de la sécurité de l'exploitation. Dans l'intérieur de chaque réseau, l'organisation et la réglementation des signaux de bifurcations est uniforme; c'est là un grand point. Est-il possible d'obtenir cette même uniformité sur l'ensemble des réseaux français? En théorie, cela serait évidemment désirable. En pratique, cela nous paraît bien difficile à réaliser. Nous ne pensons pas qu'on puisse songer à imposer aux compagnies un système de signaux uniforme par voie de réglementation administrative. On ne pourrait le faire sans déplacer les responsabilités d'une manière fâcheuse. Ne serait-il pas, en effet, bien difficile d'imposer à certaines compagnies, dans un but d'uniformité, un règlement de signaux moins rigoureux que leur règlement propre? Ne devrait-on pas, par exemple, hésiter à imposer à la compagnie de l'Est un règlement d'après lequel les trains qui trouvent la voie libre devraient franchir les bifurcations sans arrêt, comme cela se fait en effet sur la plupart des réseaux, alors que cette compagnie juge nécessaire pour la sécurité de faire arrêter tous ses trains sans distinction avant d'aborder les croisements? A défaut de l'intervention administrative, l'uniformité pourrait être établie par un accord entre toutes les compagnies intéres-

sées. En théorie, cet accord n'est évidemment pas impossible à réaliser en France, comme il l'a été déjà dans des pays voisins; mais, en pratique, la mise en application du règlement uniforme soulèverait de bien grosses difficultés. Sans parler des dépenses considérables qu'entraînerait pour chaque compagnie la transformation de ses signaux, ce serait une entreprise singulièrement difficile, et qui même ne serait pas sans danger pour la sécurité de l'exploitation, que de refaire l'éducation de tout un personnel, en substituant des règles nouvelles à celles qui lui sont familières et qu'une longue habitude lui a appris à appliquer en quelque sorte machinalement.

D'ailleurs nous avons pu constater, et c'est là le point important, que chacune des solutions adoptées par les différentes compagnies pour l'organisation et pour la réglementation des signaux de bifurcation garantit la sécurité d'une manière complète, à la double condition que les mécaniciens respectent les signaux, et que les aiguilleurs exécutent fidèlement leur consigne. L'expérience prouve qu'avec des consignes simples et un personnel bien discipliné, les accidents causés par une négligence ou une erreur d'un aiguilleur de la bifurcation sont relativement rares. Les appareils d'enclenchement permettent d'éliminer complètement cette cause de danger. Nous devons maintenant entrer dans quelques détails au sujet des principales dispositions de ces appareils, de leurs propriétés essentielles et de leur mode d'application. Sur chacun de ces points, nous avons puisé de précieux renseignements dans une note manuscrite rédigée par M. Gaunin, qui, comme chef de section principal, a été chargé de l'installation des appareils Saxby et Farmer sur le réseau d'Orléans.

II. — Étude comparative des appareils d'enclenchement, de leurs propriétés mécaniques et de leur mode d'application.

Quelles que soient les dispositions et la réglementation adoptées pour les signaux d'une bifurcation, on peut toujours se rendre facilement compte des liaisons à établir entre les leviers des mâts et des aiguilles.

Les conditions à remplir pour obtenir une complète sécurité peuvent être formulées comme il suit :

1° *Tout étant disposé pour le passage d'un train, les aiguilles d'abord et le mât ensuite, l'ouverture de ce mât doit enclencher les aiguilles dans la position voulue;*

2° *Chaque aiguille, placée dans une position contraire à celle qui convient pour le passage, doit enclencher dans la position fermée le mât qu'il faut ouvrir pour donner ce passage;*

3° *Un mât ouvert doit enclencher dans la position fermée les mâts dont l'ouverture simultanée pourrait amener une collision.*

S'il s'agit d'une bifurcation simple en pleine voie, l'application de ces conditions conduit à l'établissement d'un petit nombre d'enclenchements, qu'il sera toujours facile de réaliser simplement et à peu de frais au moyen de l'appareil Vignier primitif, tel qu'il a été décrit en 1856 par M. Hérard dans le tome XI de la 3e série des *Annales des ponts et chaussées*, et tel qu'il est encore appliqué à toutes les bifurcations du réseau de l'Ouest et à un grand nombre de celles des réseaux du Nord et du Midi.

Le problème devient plus complexe s'il s'agit d'une bifurcation placée dans une gare ou aux abords d'une gare. Pour le résoudre, MM. Saxby et Farmer ont imaginé un ensemble de dispositions très bien conçues, qui peuvent se

prêter aux applications les plus variées, et qui sont maintenant reproduites dans toutes les installations de ce genre; nous devons en indiquer sommairement les traits principaux.

Le but de ces dispositions devant être de réunir dans un même poste d'aiguilleur et sur une même table d'enclenchement les leviers de manœuvre de tout un groupe de signaux et d'aiguilles, la première condition à remplir était de manœuvrer les aiguilles à grande distance. Ce problème a été résolu en transmettant les mouvements des leviers aux aiguilles au moyen de tiges rigides en fer creux, réunies entre elles par des leviers coudés; pour compenser l'action de la dilatation, les longues tiges sont divisées en parties égales, dont les extrémités sont reliées deux à deux par l'intermédiaire d'un balancier mobile autour d'un axe perpendiculaire à la direction des tiges. On peut ainsi, dans des conditions ordinaires, manœuvrer une aiguille avec régularité à une distance de 300 mètres, sans que la manœuvre du levier exige un trop grand effort. En améliorant les conditions d'installation, et en augmentant la stabilité des points d'appui, on peut facilement dépasser cette limite de 300 mètres. C'est ainsi qu'à la gare de Caen nous avons pu constater qu'une aiguille est manœuvrée à la distance de 400 mètres dans des conditions de régularité parfaite.

Les aiguilles manœuvrées, comme nous venons de le dire, à grande distance, sont hors de la portée de la vue, et elles échappent à la surveillance de l'aiguilleur. Il peut se faire, soit qu'à l'insu de l'aiguilleur l'aiguille n'obéisse pas à la manœuvre par suite d'une rupture des tiges de transmission, soit qu'elle reste entre-bâillée par suite d'un défaut d'ajustement ou de la présence d'une pierre formant obstacle entre la lame de l'aiguille et le rail. Il était donc nécessaire de donner à l'aiguilleur un moyen de contrôler le bon fonctionnement des aiguilles, d'assurer la position

de celles qui doivent être prises en pointe, et de les caler fermement dans cette position pendant le passage des trains. A cet effet, MM. Saxby et Farmer ont introduit l'usage d'un nouvel appareil de sûreté nommé *verrou.* Ce *verrou* est disposé dans l'axe de la voie ; il est manœuvré au moyen d'un levier placé dans le poste de l'aiguilleur, et qui lui transmet un mouvement alternatif dans une direction parallèle aux rails ; la tringle de connexion des aiguilles est percée de deux trous qui se trouvent en face du verrou lorsque l'aiguille est à fond de course dans l'une ou dans l'autre de ses positions. On ne peut donc fermer le verrou que lorsque l'aiguille est bien à fond de course, et elle se trouve alors verrouillée et solidement maintenue dans cette position.

Pour compléter ces dispositions, en faisant en sorte que l'aiguilleur ne puisse pas modifier la position d'une aiguille prise en pointe pendant le passage d'un train, MM. Saxby et Farmer ont imaginé de placer en avant de l'aiguille une pédale reliée au levier du verrou. Cette pédale, disposée à l'intérieur de la voie le long du rail, est mobile autour d'une charnière horizontale perpendiculaire au rail. Dans chacune de ses deux positions extrêmes, la pédale est au niveau du boudin des roues ; mais, lorsqu'elle est à mi-course, elle dépasse de quelques centimètres la partie supérieure du rail. On comprend que, dans ces conditions, le poids des wagons empêche de mouvoir la pédale, et par conséquent de retirer le verrou qui fixe la position de l'aiguille, tant que celle-ci n'est pas complètement dégagée. Le levier de manœuvre du verrou est d'ailleurs enclnché avec ceux des mâts de signaux correspondants, de telle manière qu'il soit impossible d'ouvrir le mât qui doit autoriser le passage d'un train sur une aiguille prise en pointe, avant que cette aiguille ne soit convenablement verrouillée. Il est également enclenché avec le levier de l'aiguille elle-même, de telle sorte que cette aiguille, lorsqu'elle est prise

en pointe, se trouve à la fois verrouillée et enclenchée, ce qui assure doublement sa position.

Le mode de verrouillage des aiguilles prises en pointe, que nous venons de décrire donne évidemment une sécurité parfaite; il a d'autre part l'inconvénient de compliquer la manœuvre et d'augmenter notablement le nombre des leviers du poste d'aiguilleur, ainsi que le nombre des enclenchements à réaliser. La Compagnie de l'Ouest s'affranchit de cette complication au moyen d'un appareil électrique, disposé de façon à mettre en action une sonnerie placée dans le poste de l'aiguilleur chaque fois que les aiguilles ne sont pas parfaitement à fond de course; l'aiguilleur a ainsi un moyen de contrôle lui permettant de constater le bon fonctionnement et la bonne position de l'aiguille. Cette compagnie admet, et l'expérience paraît confirmer, que, lorsque les aiguilles sont bien disposées, leur position est suffisamment assurée par la rigidité des tiges de manœuvre, pour qu'on n'ait pas à craindre de dérangements causés par les trépidations du train. La Compagnie du Nord emploie simultanément les contrôleurs électriques et les verrous. Il convient d'ailleurs de remarquer que l'utilité des appareils spéciaux destinés à assurer la position des aiguilles prises en pointe dépend principalement de la vitesse avec laquelle ces aiguilles doivent être franchies par les trains. Sur la plupart des lignes de chemin de fer d'Angleterre, les trains franchissent sans ralentissement les bifurcations et en général toutes les aiguilles prises en points; l'application du verrou de sûreté de MM. Saxby et Farmer permet de le faire sans danger. D'après les descriptions de l'article 37 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 et les règlements généraux des compagnies, les conditions ne sont pas les mêmes en France, du moins quant à présent, les trains devant toujours réduire leur vitesse au passage des bifurcations et des aiguilles prises en pointe. On pourra sans doute, en France comme en Angleterre, s'affranchir de

cette règle et admettre que le verrouillage des aiguilles prises en pointe permet de les franchir sans ralentissement.

Tous les leviers d'aiguilles, de verrous et de signaux sont concentrés dans le poste d'aiguilleur ou « *signal box*, » où ils sont rangés en ligne droite sur un même bâti. On peut réunir ainsi sous la main d'un même aiguilleur un nombre considérable de leviers. L'un des « *signal boxes* » établis par la compagnie d'Orléans à la gare de Paris renferme 23 leviers ; on en compte 33 dans un de ceux que la compagnie de Lyon vient d'installer à la Guillotière. En Angleterre, le poste central de la gare de Waterloo-Bridge à Londres ne contient pas moins de 109 leviers ; celui de London-Bridge en a 180.

Il nous paraît inutile d'insister sur les dispositions de détail qui ont été adoptées par MM. Saxby et Farmer pour l'installation de ces « *signal boxes* », et qui depuis lors servent de type à toutes les installations analogues, quel que soit d'ailleurs l'appareil d'enclenchement auquel on les applique. L'ensemble de ces dispositions est représenté par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. 35. Pour faciliter le travail de l'aiguilleur, des couleurs différentes distinguent les leviers de mâts de signaux de ceux des aiguilles et de ceux des verrous ; les leviers sont numérotés, et sur chacun d'eux est portée l'indication des numéros de ceux qui doivent être manœuvrés avant lui. Les fausses manœuvres sont d'ailleurs rendues impossibles par les appareils d'enclenchement, de telle sorte qu'on a pu dire avec raison qu'un aveugle entrant dans le *signal box* de London-Bridge, et manœuvrant les leviers au hasard, arrêterait probablement la circulation des trains, mais ne pourrait jamais causer un accident. Sans nous arrêter plus longtemps à la description de ces dispositions en quelque sorte extérieures, nous devons maintenant aborder l'examen des appareils d'enclenchement eux-mêmes, de leurs propriétés mécaniques, et nous rendre compte de la manière dont on devra en faire l'application.

La consigne des postes d'aiguilleurs tels que ceux que nous venons de citer, et les combinaisons d'enclenchement qui doivent traduire cette consigne, sont nécessairement très compliquées. Mais, quelle que soit la complexité du problème, on peut toujours le résoudre avec certitude, et dresser méthodiquement la liste des combinaisons d'enclenchement à réaliser, en appliquant les trois règles que nous avons formulées plus haut ; on devra seulement, si on adopte pour les aiguilles prises en pointe le verrou de sûreté de MM. Saxby et Farmer, s'imposer en outre les 4ᵉ et 5ᵉ conditions ci-après :

4° *Toute aiguille munie d'un verrou doit être enclenchée dans l'une et dans l'autre de ses positions lorsque le verrou est fermé ;*

5° *Le mât qu'il faut ouvrir pour donner passage à un train prenant une aiguille en pointe doit être enclenché dans sa position fermée lorsque le verrou de cette aiguille est ouvert, et réciproquement.*

Les appareils d'enclenchement au moyen desquels on réalise ces combinaisons peuvent être d'ailleurs très variés ; c'est un problème de mécanique qui paraît susceptible d'un très grand nombre de solutions, et sur lequel l'imagination des inventeurs peut amplement s'exercer. Mais un examen peu approfondi permet de reconnaître que, quelle que soit la variété des dispositions au moyen desquelles on peut établir une liaison mécanique entre deux leviers, les combinaisons que l'on peut ainsi réaliser se réduisent à un très petit nombre de types. C'est ce qu'il est facile d'établir *a priori.*

Posons-nous le problème sous sa forme générale. Soient deux leviers A et B, chacun d'eux pouvant occuper deux positions, dont l'une sera dite position normale, et l'autre position renversée. Ces deux leviers, si on les suppose

indépendants l'un de l'autre, peuvent prendre l'un par rapport à l'autre quatre positions relatives, savoir :

A normal avec B normal.
A normal avec B renversé.
A renversé avec B normal.
A renversé avec B renversé.

Nous appellerons *système d'enclenchement* toute liaison mécanique établie entre les leviers A et B, et telle que, dans une ou plusieurs des quatre positions relatives que peuvent prendre ces deux leviers, l'un d'eux immobilise l'autre.

Ce système d'enclenchement pourra avoir pour effet de rendre impossibles une ou plusieurs des quatre positions relatives que pourraient prendre les deux leviers s'ils étaient indépendants; en outre, dans chacune des positions relatives qui demeureront permises, chaque levier pourra, soit immobiliser l'autre ou en d'autres termes l'enclencher, soit le laisser libre. Il suffit évidemment de faire à cet égard toutes les hypothèses possibles pour définir tous les systèmes d'enclenchement qui peuvent être établis entre les deux leviers; on peut éliminer *a priori* un certain nombre de ces hypothèses en appliquant les quatre règles ci-après, qui se justifient d'elles-mêmes et qu'il nous suffira d'énoncer :

1° *Étant donnée une position relative des deux leviers, si un de ces leviers immobilise l'autre, ce second levier ne peut pas en même temps immobiliser le premier, sans quoi le système tout entier se trouverait définitivement immobilisé;*

2° *Une position d'un levier étant donnée, il peut être immobilisé dans l'une ou l'autre des deux positions que peut prendre le second levier, mais non pas dans les deux positions, sans quoi le premier levier se trouverait complètement et définitivement immobilisé.* Exemple : Si A normal immobilise B normal, A renversé le laisse nécessairement libre,

sans quoi B se trouverait immobile dans sa position normale.

3° *Si, pour une position donnée d'un des leviers, le second levier peut passer d'une position à une autre, celui-ci pourra toujours par un mouvement inverse revenir de la seconde position à la première;* autrement dit : si A normal laisse libre B normal, il laisse également libre B renversé. Toutefois cette dernière règle n'est pas absolue ; elle suppose que les liaisons mécaniques établies reposent sur les propriétés cinématiques des pièces animées d'un mouvement alternatif, et cela sans intervention de ressorts ; on peut s'en affranchir au moyen d'enclenchements à ressorts ou à contre-poids ; nous verrons tout à l'heure dans quel cas on est conduit à les employer.

4° Enfin, pour que, dans une position relative des deux leviers, un de ces leviers enclenche l'autre, pour que par exemple A normal immobilise B renversé, on peut faire en sorte : soit que les deux positions A normal et B normal soient incompatibles ; soit que la positiou de A normal, tout en étant également compatible avec les deux positions extrêmes de B, soit incompatible avec une des positions intermédiaires que B doit nécessairement prendre pour passer de l'une à l'autre de ses deux positions extrêmes. Dans le premier cas on peut poser comme règle que, *si une position d'un levier enclenche l'autre dans une position donnée, la position inverse du second levier enclenchera nécessairement le premier dans la position inverse de celle pour laquelle la première relation a été établie.* En d'autres termes, si A normal immobilise B renversé, B normal devra nécessairement immobiliser A renversé. C'est ce que nous pourrons appeler *le principe de réciprocité.* Dans le cas contraire, s'il y a seulement incompatibilité entre les positions intermédiaires des deux leviers, la réciprocité n'existe plus ; mais on peut alors formuler une nouvelle règle ainsi conçue : *Si une position donnée d'un levier immobilise l'autre*

dans une position, il l'immobilise également dans la position inverse; en d'autres termes, si A renversé immobilise B normal, il immobilisera en même temps B renversé.

En faisant application de ces diverses règles et en procédant par élimination, on trouve qu'en dernière analyse les différents systèmes d'enclenchement qui peuvent exister entre deux leviers A et B se réduisent aux huit types définis ci-après :

1er type.	A normal enclenche B normal. A renversé laisse B libre. B renversé enclenche A renversé. B normal laisse A libre.
2e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclenche B renversé. B normal enclenche A normal. B renversé laisse A libre.
3e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclenche B normal. B normal laisse A libre. B renversé enclenche A normal.
4e type.	A laisse B libre dans toutes les positions. B renversé enclenche A dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. B normal laisse A libre.
5e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclenche B dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. B laisse A libre dans toutes les positions.
6e type.	A normal enclenche B renversé. A renversé laisse B libre. B normal enclenche A renversé. B renversé laisse A libre.
7e type.	A normal enclenche B dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. A renversé laisse B libre. B laisse A libre dans toutes les positions.
8e type.	A laisse B libre dans toutes les positions. B normal enclenche A dans ses deux positions. B renversé laisse A libre.

Les premier, deuxième, troisième et sixième types correspondant au cas où l'enclenchement est obtenu pour l'incompatibilité de deux positions extrêmes des deux leviers ; les quatre autres correspondent au contraire au cas où l'incompatibilité existe, non plus entre deux positions extrêmes, mais entre une des positions extrêmes d'un des leviers et une position intermédiaire de l'autre. Dans la pratique, on peut toujours se borner à réaliser les cinq premiers types ; le sixième type, qui suppose l'incompatibilité des deux positions normales des deux leviers, doit être écarté. D'autre part, les quatrième, cinquième, septième et huitième types, dans lesquels une position d'un des leviers enclenche l'autre indifféremment pour les deux positions de ce second levier, n'ont généralement d'application que pour les relations des leviers des verrous d'aiguilles avec les leviers d'aiguilles ; on fera toujours en sorte que la position ouverte du verrou corresponde à la situation normale de son levier, ce qui rend sans objet les systèmes d'enclenchement des septième et huitième types. On pourrait même aller plus loin, en remarquant que le premier et le deuxième type, de même que le quatrième et le cinquième, font dans une certaine mesure double emploi, puisqu'ils ne diffèrent que par l'interversion des rôles des deux leviers A et B. Mais il est avantageux en pratique de se donner la facilité de réaliser ces cinq types sans être forcé de faire cette interversion. Cela tient à ce qu'en général les dispositions mécaniques au moyen desquelles les enclenchements de ces divers types sont établis entre deux leviers A et B ne sont pas symétriques par rapport à ces deux leviers ; pour la simplicité de l'appareil, il faut se réserver la faculté de faire jouer à chaque levier, soit le rôle du levier A, soit celui du levier B, par rapport aux autres leviers avec lesquels il a des relations d'enclenchement.

Tout procédé d'enclenchement qui permettra de réaliser

les cinq systèmes d'enclenchement que nous venons de définir devra donc être considéré comme fournissant une solution complète du problème. Dans l'appareil Vignier, l'enclenchement de deux leviers est obtenu par le mouvement alternatif de deux tiges perpendiculaires, dont chacune est solidaire du mouvement des leviers; une de ces tiges est percée de trous dans lesquels l'autre vient s'engager et faire office de verrous. Si nous supposons que la première de ces tiges corresponde au levier A, la seconde au levier B, nos cinq types théoriques d'enclenchement pourront être facilement réalisés au moyen des dispositions représentées par les diagrammes de la *fig.* 1, Pl. 34.

Dans l'appareil Saxby (*), chaque levier transmet son mouvement alternatif à une palette en fonte, évidée en forme de gril, et tournant autour d'un axe horizontal perpendiculaire à celui du levier. Dans l'état normal du levier, la palette est horizontale; lorsque le levier est renversé, sa palette est déversée sous un angle de 60 degrés. Un certain nombre de palettes transmettent leurs mouvements alternatifs à des tringles qui les croisent perpendiculairement. Au droit de chaque palette qu'on veut enclencher, la tringle est armée d'une cale en fer qui peut prendre différentes formes. Si A est le levier qui commande la tringle, B celui sur la palette duquel agit la cale, on peut, en faisant varier la forme de la cale, réaliser nos cinq types théoriques d'enclenchement, ainsi qu'il résulte des diagrammes représentés à la *fig.* 2, Pl. 34.

Si, comme nous l'avons supposé dans le diagramme, une même tringle commandée par un levier A porte une série de cales, de manière à établir entre le levier A et une série de leviers B^1, B^2, etc., des enclenchements des différents types, toutes les cales sont solidaires de la cale A

(*) Voir les *fig.* 1 à 3, Pl. 35; la *fig.* 2, Pl. 34, et la légende explicative de ces figures.

qui conduit le mouvement, et par conséquent solidaires entre elles ; d'où cette règle que *tout levier enclencheur de A enclenche tout ce qui est enclenché par A*. Cette règle s'applique d'ailleurs également aux enclenchements de l'appareil Vignier, si, comme nous l'avons représenté, la tringle solidaire du levier A est percée d'une série de trous correspondant aux verrous solidaires d'une série de leviers B et disposés de façon à réaliser les divers types d'enclenchement. On pourra toujours facilement dresser la liste des enclenchements qui se trouvent ainsi réalisés indirectement et sans l'addition d'un nouveau mécanisme.

D'après les explications que nous venons de donner, il est maintenant facile de concevoir comment on devra procéder pour dresser le projet des enclenchements à établir entre un système quelconque de signaux et d'aiguilles. Quelle que soit la complexité du problème et quel que soit le nombre de leviers entre lesquels on ait à établir des relations, la méthode à suivre sera toujours la même ; pour dresser la liste des enclenchements nécessaires entre les leviers des aiguilles des mâts et des verrous, il suffira d'appliquer successivement les cinq règles que nous avons énoncées plus haut. Avec la connaissance que nous avons maintenant des différents systèmes d'enclenchement et de leurs propriétés, il sera aisé de déterminer le type d'enclenchement qui doit servir à traduire mécaniquement chacune de ces règles.

D'après les deux premières règles, tout étant disposé pour le passage d'un train, l'ouverture du mât qui autorise le passage doit enclancher les aiguilles dans la position convenable, et réciproquement la position contraire de l'aiguille doit enclencher le mât dans sa position fermée. Cette double condition sera réalisée en établissant entre les leviers du mât et celui de l'aiguille un système d'enclenchement du 2e ou du 3e type, suivant que la position vou-

lue de l'aiguille correspond à la position renversée ou à la position normale de son levier.

D'après la troisième règle, un mât ouvert doit enclencher dans la position fermée tous les mâts dont l'ouverture simultanée pourrait amener une collision; cette condition conduira à établir des systèmes d'enclenchement du 1er ou du 3e type, suivant que les mâts à enclencher dans la position fermée seront ouverts ou fermés dans leur position normale. On devra recourir aux enclenchements des types 4 et 5 pour établir les relations prescrites par notre 5e règle entre les aiguilles prises en pointe et leurs verrous. Enfin on satisfera à la 6e condition, relative à l'enclenchement des leviers de mâts par les leviers de verrous des aiguilles prises en pointe, de la même manière que pour les relations de ces mêmes leviers de mâts avec ceux des aiguilles correspondantes, c'est-à-dire au moyen des enclenchements des 2e et 3e types.

Le tableau des enclenchements nécessaires étant ainsi dressé, on devra le compléter par l'énumération de tous les enclenchements indirects qui s'en déduisent, ce qui permettra, dans la plupart des cas, de diminuer le nombre des systèmes d'enclenchements à établir directement, en en éliminant un certain nombre qui se trouveraient faire double emploi. En procédant ainsi avec méthode, on arrivera assez facilement à tracer le diagramme des enclenchements à établir.

Il ne restera plus alors qu'à déterminer les correspondances à organiser entre les différents postes d'aiguilleurs. Il peut se faire, en effet, que l'étendue de la gare nécessite l'établissement de plusieurs postes. Dans ce cas, les mouvements de trains qui s'exécutent à la fois dans le rayon d'action des deux postes ne doivent pouvoir s'effectuer qu'après entente des deux aiguilleurs. Il suffit pour cela que les disques, dont l'ouverture autorise ces mouvements, soient des disques à plusieurs transmissions, tels que les disques à

deux ou trois transmissions qui sont depuis longtemps en usage sur plusieurs réseaux, et qu'ils soient disposés de façon à ne pouvoir être ouverts par un des deux aiguilleurs qu'avec l'autorisation de l'autre. Si, par exemple, un mât ne doit être ouvert par un poste A qu'avec l'autorisation de B, on organisera entre A et B des signaux conventionnels permettant à A de demander à B l'autorisation nécessaire; cet échange de signaux se fera d'ailleurs facilement, soit simplement au moyen d'un timbre, soit par la manœuvre de mâtereaux à sonnettes, soit enfin avec des appareils électriques tels que ceux que M. Jousselin a installés sur le réseau de Lyon. Prévenu par ce signal, le poste B devra manœuvrer le levier qui met en liberté le mât du disque, et ce n'est qu'après cette manœuvre que le poste A pourra ouvrir le disque. On procédera de même en sens inverse pour fermer le disque, après que le mouvement de trains se sera effectué. On peut d'ailleurs renforcer ces prescriptions par un enclenchement tel que, lorsque le poste B, sur l'invitation du poste A, a manœuvré le levier qui met le disque en liberté, ce levier se trouve enclenché dans cette position, et ne puisse être déclenché que par le poste A. On réalise cette combinaison au moyen d'un système d'enclenchement à ressort ou à contre-poids. Une disposition de ce genre a été introduite par la compagnie du Nord dans l'appareil Vignier établi à la bifurcation de Pontoise. L'appareil Saxby et Farmer se prête également à des combinaisons analogues.

Il ne nous reste plus qu'à signaler les derniers perfectionnements nouvellement introduits par MM. Saxby et Farmer, et qui permettent d'établir entre deux leviers un enclenchement conditionnel, c'est-à-dire subordonné à la position d'un troisième levier. Si, par exemple, l'ouverture simultanée de deux disques A et B n'est dangereuse que pour une position donnée d'une aiguille C, on pourra, au moyen de cette disposition, subordonner l'enclenchement des deux

disques à cette position de l'aiguille, et autoriser ainsi des mouvements de trains simultanés qui pourront s'effectuer sans danger. Chaque disque doit donc enclencher l'autre pour une position donnée de l'aiguille C, et réciproquement l'ouverture simultanée des deux disques doit enclencher cette aiguille dans la position convenable. Les diagrammes, *fig.* 3, Pl. 34, montrent comment cette double condition se trouve remplie. Le nombre des combinaisons de ce genre auquel se prête l'appareil Saxby et Farmer est pour ainsi dire illimité.

Nous connaissons maintenant les conditions mécaniques auxquelles les appareils d'enclenchement doivent satisfaire; nous avons défini les différents types de combinaisons à réaliser; nous avons vu enfin comment on en devait faire l'application aux divers cas qui peuvent se présenter. Dans ce travail, nous avons étudié pareillement les deux procédés d'enclenchement dont on fait usage dans les appareils Vignier et dans ceux de MM. Saxby et Farmer. Nous avons constaté que les premiers aussi bien que les seconds donnent une solution complète du problème. Mais, après avoir rendu ce témoignage aux appareils de M. Vignier, à qui appartient d'ailleurs l'honneur de la priorité, il serait bien injuste de méconnaître la valeur des perfectionnements introduits par MM. Saxby et Farmer. Non seulement ces inventeurs ont singulièrement élargi la question, et ont fait entrer l'application du principe des enclenchements dans une voie nouvelle, en combinant ce principe avec celui de la manœuvre des aiguilles à grande distance, de façon à réunir un grand nombre de leviers de mâts et d'aiguilles sous la main d'un seul aiguilleur, mais ils ont su réaliser ce programme au moyen d'un ensemble de combinaisons parfaitement étudiées dans tous leurs détails, créant ainsi une sorte de type dont les dispositions générales sont aujourd'hui universellement adoptées en France comme en

Angleterre pour toutes les installations du même genre, quel que soit d'ailleurs le procédé d'enclenchement dont on fasse usage.

Si nous comparons ces procédés d'enclenchement, non plus au point de vue de leurs propriétés géométriques, mais eu égard à leur valeur pratique, nous devons constater d'abord que les appareils Vignier, sous leur première forme, se prêtent parfaitement et à très peu de frais à des applications simples, telles que le cas d'une bifurcation en pleine voie, ou, dans une gare, pour l'enclenchement des aiguilles d'un changement de voie avec le disque à distance qui le couvre.

L'application qui a été faite par la compagnie de l'Ouest, aux abords de la gare de Caen, montre qu'avec quelques modifications de détail ce système peut trouver également son application dans des cas plus complexes. La table d'enclenchement du poste de Caen comprend quinze leviers, et la simplicité relative du mécanisme prouve que ce nombre de leviers pourrait sans inconvénient être notablement dépassé.

D'autre part, on doit reconnaître que, s'il s'agit de postes comportant un très grand nombre de leviers, tels qu'on tend maintenant à les établir en France aussi bien qu'en Angleterre, les nouveaux procédés d'enclenchement adoptés en dernier lieu par MM. Saxby et Farmer, et dont nous avons donné les diagrammes, se prêtent merveilleusement et avec une très grande simplicité relative aux combinaisons les plus multiples. Comme nous l'avons vu, le mécanisme ne se compose que de trois éléments : le mouvement de chaque levier se transmet à une *palette* en forme de gril; celle-ci, à son tour, peut entraîner dans son mouvement d'oscillation une *tringle d'enclenchement* placée transversalement au-dessus de la série des palettes; enfin chacune de ces tringles d'enclenchement est armée d'un certain nombre de *cales* disposées de manière à agir sur

les palettes des autres leviers. Toutes ces pièces sont placées à l'extérieur, ce qui facilite leur surveillance et leur entretien. Elles se réduisent à un très petit nombre d'organes qui sont toujours identiques, quels que soient d'ailleurs le nombre de leviers du poste et la variété des combinaisons à réaliser, ce qui est un avantage inappréciable pour les facilités d'installation, de réparation et d'entretien. On peut toujours facilement modifier et compléter à volonté les relations d'enclenchement établies entre les leviers d'un même poste, par le simple déplacement ou par l'addition de quelques cales, ou, au besoin, par l'addition d'une tringle de calage. Enfin, d'après un dernier perfectionnement imaginé par MM. Saxby et Farmer, le mouvement des palettes est rendu solidaire, non plus du mouvement du levier, mais simplement de celui d'une manette, qu'il faut presser avant de déplacer le levier, et qui conserve cette position tant que le levier n'est pas à fond de course, de telle sorte qu'avant même que la manœuvre d'un levier soit commencée tous les enclenchements que doit produire cette manœuvre sont sûrement réalisés, et qu'en sens inverse ces enclenchements persistent jusqu'à ce que le levier ait été ramené à fond de course dans sa position normale. Ce sont là des avantages incontestables qui justifient pleinement la faveur dont les appareils de MM. Saxby et Farmer jouissent en Angleterre et la préférence que les compagnies de Lyon, d'Orléans, du Nord et de l'Est lui ont successivement accordée.

Cette étude ne serait pas complète si, avant de terminer, nous ne signalions les nouveaux appareils de sûreté désignés sous le nom de *serrure Annett* que la compagnie des chemins de fer de l'Est expérimente en ce moment. Le principe de cet appareil est très simple. Pour rendre la position d'un levier solidaire de la position d'un autre levier, on adapte à chacun d'eux une serrure. Une seule clef, d'un modèle particulier, et dont il n'y a pas de

double, est ajustée aux deux serrures; elle est disposée de telle manière qu'après l'avoir employée dans l'une ou l'autre serrure on ne puisse l'en retirer sans enclencher le levier correspondant à cette serrure dans la position requise pour assurer la sécurité. De cette manière, on peut, par exemple, soit rendre matériellement impossible l'ouverture simultanée de plusieurs disques, soit ne permettre l'ouverture d'un disque que pour une position donnée d'une aiguille. Un appareil remplissant ces conditions peut évidemment être très utilement appliqué dans un grand nombre de cas, et permettre d'obtenir, par des moyens très simples et à très peu de frais, de grandes garanties de sécurité.

Résumé et conclusions. — Pour remplir le programme qui était tracé à la sous-commission par la note de l'administration centrale dont nous avons rapporté les termes, nous avons dû, dans la première partie de ce rapport, analyser les règlements en vigueur sur les différents réseaux pour assurer la sécurité de la circulation des trains au passage des bifurcations. En comparant ces règlements, nous avons montré de quels principes différents ils procèdent, suivant l'usage qu'on fait des appareils d'enclenchement et suivant l'importance du rôle qu'on leur assigne; nous avons signalé les différences qui existent entre les règlements des diverses compagnies, même lorsqu'ils sont basés sur les mêmes principes, selon les différentes règles adoptées pour l'organisation des signaux et pour leur interprétation. Passant ensuite à l'examen des appareils d'enclenchement, nous avons constaté que toutes les compagnies en étendent aujourd'hui l'application, en faisant usage, soit de l'ancien appareil Vignier plus ou moins modifié, soit des appareils de MM. Saxby et Farmer. Nous avons vu quelle importance ont prise ces applications par suite des progrès réalisés et des perfectionnements ingénieux imaginés par MM. Saxby et Farmer, perfectionnements qui permettent, par la ma-

nœuvre des aiguilles à grande distance, de concentrer dans un même poste d'aiguilleur un nombre considérable de leviers. Abordant ensuite l'examen des divers procédés d'enclenchement, nous avons dû déterminer à quelles conditions mécaniques ces appareils doivent satisfaire, quelles combinaisons ils doivent permettre de réaliser pour donner une solution complète du problème, comment enfin on doit procéder pour appliquer ces diverses combinaisons dans tous les cas qui peuvent se présenter, depuis celui d'une bifurcation simple jusqu'aux cas les plus compliqués. Nous avons constaté que ces conditions sont complètement remplies dans les appareils Vignier comme dans les appareils Saxby et Farmer, tout en rendant d'ailleurs pleine justice aux avantages que possèdent les procédés d'enclenchement imaginés par MM. Saxby et Farmer, et qui semblent devoir en recommander l'emploi dans les postes comprenant un grand nombre de leviers.

Cette étude nous fournira les éléments des réponses à faire aux deux questions posées par l'administration supérieure. Nous devons en rappeler les termes :

1° Convient-il de signaler aux compagnies l'opportunité d'uniformiser des systèmes de signaux destinés à protéger les bifurcations?

2° Dans le cas de l'affirmative, quel est le système qu'il y a lieu de recommander aux compagnies comme garantissant le mieux la sécurité publique?

S'il ne s'agissait ici que d'émettre un vœu théorique, notre réponse à la première question ne serait pas douteuse. L'uniformité des systèmes de signaux de bifurcation est évidemment en théorie une chose désirable. Mais nous avons vu qu'en fait, non seulement la réalisation de cette uniformité imposerait aux compagnies de grands sacrifices, mais qu'en outre la transition d'un système à un autre ne pourrait se faire sans de grandes difficultés

pour l'éducation du personnel, et sans introduire dans le service des perturbations qui pourraient être dangereuses pour la sécurité. D'un autre côté, l'établissement d'un système uniforme, en paralysant la liberté d'action des compagnies, fermerait la porte à tout nouveau progrès dans l'avenir. Nous avons constaté d'ailleurs que, par des moyens différents, les règlements des signaux de bifurcation en vigueur sur les différents réseaux assurent d'une manière complète la sécurité.

En ce qui concerne les appareils d'enclenchement, nous avons vu que certaines compagnies les appliquent d'une manière générale à toutes leurs bifurcations; les autres, tout en établissant leurs règlements de signaux de manière à assurer la sécurité indépendamment des appareils d'enclenchement, en étendent progressivement l'application sur tous les points de leur réseau où, en raison de la complication du service et de l'activité de la circulation des trains, il est utile d'obtenir des garanties supplémentaires de sécurité. Nous avons également reconnu que les divers systèmes d'enclenchement en usage satisfont d'une manière complète aux diverses conditions du problème, et que leur application peut permettre, sans que la sécurité soit compromise, de faciliter et d'accélérer le mouvement des trains au passage des bifurcations au double point de vue de l'autorisation du passage simultané de plusieurs trains et de la possibilité de faire franchir les aiguilles prises en pointe sans ralentissement.

Sous le bénéfice des observations qui précèdent, nous estimons qu'il y a lieu simplement de constater les progrès réalisés, en encourageant les compagnies à persévérer dans la voie où d'elles-mêmes elles sont toutes entrées successivement.

Avis du Comité :

Après avoir entendu la lecture du rapport de M. Heurteau et en avoir délibéré, le Comité de l'exploitation technique

des chemins de fer, dans sa séance du 9 mars 1880, a émis l'avis :

1° Qu'il n'était possible, en l'état, de répondre que par la négative à la première question posée par l'administration supérieure;

2° Qu'on ajoutera un élément très important de sécurité aux bifurcations en y adoptant l'emploi des appareils d'enclenchement;

3° Que, sans désigner spécialement, en ce moment, aucun de ces appareils au choix des compagnies, et en constatant que plusieurs d'entre elles s'empressent déjà d'en étendre l'emploi sur leurs réseaux, il y a lieu d'en recommander instamment l'application à toutes les bifurcations, en attendant qu'on en fasse l'objet d'une prescription formelle.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES 34 ET 35.

Planche 34.

Fig. 1 et 2. Diagrammes des cinq types d'enclenchement.

Fig. 1. Appareil Vignier.)

(*Fig.* 2. Appareil Saxby et Farmer.)

1er type.
- A normal enclenche B_1 normal.
- B_1 renversé enclenche A renversé.
- A renversé laisse B_1 libre.
- B_1 normal laisse A libre.

2e type.
- A renversé enclenche B_2 renversé.
- B_2 normal enclenche A normal.
- A normal laisse B_2 libre.
- B_2 renversé laisse A libre.

3e type.
- A renversé enclenche B_3 normal.
- B_3 renversé enclenche A normal.
- A normal laisse B_3 libre.
- B_3 normal laisse A libre.

4e type.
- B_4 renversé enclenche A normal et A renversé.
- B_4 normal laisse A libre.
- A laisse B_4 libre.

5e type.
- A renversé enclenche B_5 renversé et B_5 normal.
- A normal laisse B_5 libre.
- B_5 laisse A libre.

Fig. 3. Diagramme d'enclenchement conditionnel :

A renversé enclenche B normal, seulement si C est normal.

B renversé enclenche A normal, seulement si C est normal.

A et B renversés à la fois enclenchent C dans sa position renversée ; C ne peut redevenir libre que si A ou B sont remis dans leur position normale.

Fig. 4. Diagramme des dispositions adoptées pour protéger le passage des trains sur la bifurcation de Viroflay (rive droite).

L'aiguille n° 1 est *normalement* disposée dans la direction de la voie descendante de Versailles (rive droite).

L'aiguille n° 1 est *normalement* disposée dans la direction de la voie montante de Versailles (rive droite).

Le signal n° 6 est *normalement* tourné à l'arrêt.

Planche 35.

Fig. 1. Appareil Saxby et Farmer. — Perspective d'un poste comprenant 20 leviers.

Fig. 2. Appareil Saxby et Farmer. — Levier avec ses différentes pièces démontées pour en faire voir le mécanisme. (Le tracé ponctué indique le levier renversé.)

A levier moteur de disque ou d'aiguille, oscillant en O.

B manette mobile autour de l'axe *m*.

C targette mise en mouvement par la manette B et munie à sa partie inférieure d'un ressort à boudin *b*.

D coussinet guidant la targette et muni de deux saillies *a*, *a*, servant à guider le mouvement de la bascule E.

E bascule en forme de coulisse, oscillant en *c*, et dans laquelle peut glisser un curseur *d* fixé au talon de la targette. La bascule porte une saillie *e* pouvant se loger entre les deux saillies *a*, *a* du coussinet D qui lui servent de guides.

G segment dont le centre est en O, formant guide du levier. Le segment est muni de deux encoches *g*, *g*, dont l'écartement correspond à la course du levier, et dans lesquelles se loge le talon de la targette quand le levier est à fin de course. Le segment est fixé au bâti.

H Bielle articulée à l'extrémité *i* de la bascule, mue par le mouvement d'oscillation de la bascule et faisant mouvoir la palette K.

K palette évidée, en forme de gril, pouvant entraîner dans son mouvement d'oscillation une tringle d'enclenchements. La palette est munie de deux tourillons logés dans les parois du bâti.

M tringle d'enclenchements conditionnels.

Fig. 3. Levier prêt à fonctionner.

(Mêmes lettres que pour la *fig.* 2.)

La tringle d'enclenchement est munie de cales de différentes formes

disposées de manière à permettre ou empêcher le mouvement des palettes des autres leviers. Chaque tringle est commandée par une palette et, par conséquent, par un levier, mais toute palette ne commande pas une tringle. (La *fig.* 2, Pl. 34, montre la disposition au moyen de laquelle une palette commande une tringle d'enclenchement, la palette étant munie d'une came prise entre deux mentonnets fixés sur la tringle.)

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Novembre 1880.

N° 66

Accident au grand pont sur le Tay. — Dans une note antérieure (*), nous avons entretenu les lecteurs des *Annales* de l'accident arrivé, le 28 décembre 1879, au grand pont construit sur le Tay (Angleterre). Le jury, nommé pour rechercher les causes de cette catastrophe, a récemment déposé ses conclusions. Bien que les trois membres qui le composaient aient été divisés sur quelques points, et en particulier sur la question de responsabilité, leurs appréciations des faits matériels les plus importants s'accordent complètement.

Nous empruntons au rapport rédigé en commun par le colonel Yolland et par M. W. H. Barlow, Président de la Société des Ingénieurs civils de Londres, le résumé suivant des résultats qu'a fournis l'enquête :

« 1er — Rien n'indique qu'il se soit produit un mouvement ou un « affaissement dans les fondations des piles.

« 2e — Le fer employé était de force suffisante, quoique de qua- « lité médiocre au point de vue de la rigidité.

« 3e — La fonte était aussi d'assez bonne qualité, bien qu'elle « donnât difficilement des coulées bien saines.

« 4e — Les poutres qui sont tombées avaient une résistance suf- « fisante. Elles avaient été étudiées avec soin pour donner à leurs « différentes parties des dimensions en rapport avec les efforts « qu'elles avaient à supporter. On y a bien trouvé quelques mal- « façons, mais elles n'étaient pas de nature à contribuer à l'acci-

(*) *Annales* 1880, 1er semestre, p. 446 et suiv.

« dent. Les ruptures qu'on y a constatées ont été causées par leu « chute du haut des piles.

« 5e — Les piles métalliques, par lesquelles on a remplacé les « piles en briques prévues d'abord, étaient assez solides pour ré- « sister à la charge verticale; mais elles ne présentaient pas un « *caractère substantiel* (?) suffisant pour porter, à une aussi grande « hauteur, des poutres de dimensions aussi considérables que « celles qui sont tombées.

« 6e — Bien qu'on ait entretenu un état-major considérable d'em- « ployés et d'inspecteurs pendant les travaux, nous pensons qu'on « n'a pas exercé une surveillance suffisamment rigoureuse pendant « la construction de la partie exécutée à la Fonderie Wormit. « Nous estimons qu'on aurait pu prévenir et éviter les grandes « inégalités d'épaisseur de quelques-unes des colonnes, la conicité « des trous venus de fonte dans les oreillettes, et d'autres imper- « fections de montage que l'enquête a révélées.

« 7e — Les dispositions prises pour la surveillance du pont, après « sa construction, laissaient d'autant plus à désirer que cette sur- « veillance était confiée à Henri Noble seul. Cet homme, quoique « très intelligent et très entendu dans les travaux de l'espèce de « ceux auxquels il était accoutumé, n'avait aucune expérience des « constructions en fer. Il ne semble pas non plus qu'il ait reçu « d'instructions suffisantes et bien définies sur ce dont il aurait à « rendre compte, après ses examens de l'état de la structure mé- « tallique du pont.

« 8e — Quand Henri Noble a reconnu, en octobre 1878, qu'un « grand nombre de pièces de l'entretoisement avaient pris du jeu, « il aurait dû en avertir Sir Thomas Brouch (le constructeur du « pont). S'il l'avait fait, on aurait eu tout le temps nécessaire pour « remplacer les étrésillons par d'autres plus solides et pour ren- « forcer leurs points d'attache avant la venue de l'ouragan qui a » renversé le pont.

« 9e — Les étrésillons avaient déjà été tendus à nouveau et ra- « menés à leurs positions primitives avant l'inspection du général « Hutchinson, et beaucoup d'entre eux ont pris du jeu peu après. « Ces faits prouvent clairement que cette partie de la construction « était faible et que les colonnes s'étaient déjà écartées de la ver- « ticale quand cette inspection a eu lieu. Nous pensons que le » relâchement des croisillons, poussé jusqu'au point de permettre « l'introduction dans les assemblages de morceaux de fer de « $0^m,009$, indiquait un changement considérable dans la forme des « piles; il est donc permis de douter que celles-ci aient pu revenir

« à leur première forme quand l'action du vent cessait. Dans ces « circonstances, l'emploi de garnitures pouvait avoir pour effet « de fixer invariablement, dans leur position déformée, les pièces « auxquelles on les appliquait.

« 10e — Malgré la recommandation faite par le général Hutchin-« son, de réduire à 40 kilomètres, au maximum, la vitesse des « trains sur le pont, la Compagnie n'a pas tenu la main à cette « prescription, et des portions du pont ont été fréquemment par-« courues à des vitesses bien plus considérables.

« 11e — La chute du pont s'est produite, parce que l'entretoi-« sement des piles et le système d'attaches ont été impuissants à « résister à la violence du vent dans la nuit du 28 décembre 1879, « et parce que le pont avait précédemment subi l'assaut d'autres « ouragans.

« 12e — Quoique l'ensemble de l'enquête semble devoir attri-« buer à l'entretoisement la cause primordiale de l'accident, il se « peut que la chute du pont provienne d'une rupture partielle ou « totale d'une des colonnes extérieures exposées au vent, rupture « produite par des causes analogues à celles qui avaient amené la « fracture d'autres colonnes peu de temps avant l'accident. Car si « une rupture de nature dangereuse s'était produite antérieure-« ment dans l'une de ces colonnes, les efforts extraordinaires dûs « à la violence de l'ouragan, joints au poids et à la trépidation « causée par le passage du train, auraient causé la rupture totale « de cette colonne.

« 13e — Le premier système de poutres continues (celui du « côté sud), qui recouvrait cinq travées, a été le premier à tom-« ber, au moment où la machine et une partie du train venaient « de passer sur la quatrième pile. Les autres systèmes de poutres « qui couvraient chacun quatre travées ont été ensuite chassés « des piles, sur lesquelles reposaient leurs extrémités Nord, par « l'effet de la chute du premier système de poutres et probable-« ment aussi par la rupture de quelques-unes des colonnes qui les « portaient.

« 14e — S'il est tombé une aussi grande longueur de pont, il « faut l'attribuer à l'emploi des longues poutres continues, por-« tées par des piles composées d'une série de colonnes en fonte « des dimensions indiquées.

« En terminant, nous devons remarquer que le ministère du « commerce (Board of Trade) n'a donné aucune prescription qui « oblige à tenir compte de la pression du vent, et que les ingé-« nieurs ne paraissent pas avoir de règle bien définie pour la

« calculer, dans les constructions métalliques à l'usage des che-
« mins de fer. Nous recommandons au ministère de prendre les
« mesures nécessaires pour établir une réglementation sur ce
« point. »

Le rapport se termine enfin par l'invitation expresse de ne rien entreprendre pour la reconstruction du pont, avant d'avoir soigneusement vérifié l'état de la partie restée debout, et surtout des piles, afin qu'on puisse y faire les changements et améliorations qui pourront être nécessaires pour donner une stabilité complète à cette portion de l'ouvrage.

Nous avons rapporté ici les conclusions du jury, parce qu'elles font connaître les causes probables de ce lugubre accident ; nous n'avons pas la prétention de les justifier ni de les combattre. Nous croyons toutefois devoir ajouter quelques réflexions qui viennent immédiatement à l'esprit et signaler certains points où des contradictions semblent se manifester. L'enquête ne relève ni affaissement, ni mouvement dans les piles. Cette opinion semble difficile à admettre, quand on voit plus loin que l'entretoisement des colonnes s'était relâché à tel point que les étrésillons, dans certains assemblages, avaient un jeu de $0^{m},009$. Il semble évident, étant donné un pareil état de choses, que des déformations aient dû se produire dans la structure des piles. Si la fonte était de bonne qualité, comment admettre que des tubes se soient fendus si vite après leur mise en place ? Quelle négligence dans la fabrication des colonnes ! Comment peut-on s'expliquer que, dans un ouvrage de cette importance, on ait accepté sans hésitation, sans contrôle, des tubes présentant et des soufflures remplies d'un mastic quelconque, et des inégalités d'épaisseur comme celles que l'enquête a relevées. De tout l'ensemble des faits ressort une verité indéniable : c'est que dans ce grand ouvrage les malfaçons abondaient. La catastrophe qui en a été la conséquence renferme un enseignement que devront soigneusement méditer les ingénieurs qui pourront être chargés de travaux analogues ; c'est qu'on ne saura jamais apporter une surveillance trop attentive à la fabrication des pièces métalliques et à leur montage, ni se montrer trop difficile sur la bonne exécution des parties les moins importantes en apparence.

Bac à vapeur pour le transport des trains de chemin de fer. — La ligne qu'on a récemment construite en Amérique pour abréger le parcours entre Sacramento et San-Francisco traverse les détroits de Carquinez. On avait tout d'abord songé à les franchir au moyen

d'un pont; mais on a reconnu que les difficultés de construction seraient si grandes qu'on a dû renoncer à cette idée; et finalement la Compagnie du Central Pacific Railroad s'est décidée à recourir à un bac à vapeur pour opérer le transbordement des trains d'une rive à l'autre, de Benicia à Port-Costa.

Ce bac est probablement le plus grand qui soit au monde, et il n'est pas sans intérêt de faire connaître ses principales dimensions et sa disposition. Ses dimensions sont les suivantes :

		mètres
Longueur totale,	sur le pont	129,23
Id.	au fond	123,74
Hauteur ou profondeur,	au centre	5,61
Id.	aux extrémités	4,82
Largeur du maître bau		19,50
Largeur totale de la plate-forme du pont		35,35
Flèche du pont		0,76
Tirant d'eau,	sans charge	1,52
Id.	avec charge	1,98

Le tonnage est de 3.600 tonnes.

Le bac reçoit sa force motrice de deux machines verticales à balancier. Les cylindres ont $1^m,52$ de diamètre intérieur et $3^m,35$ de course. La propulsion s'effectue au moyen de 2 roues à aubes de $9^m,14$ de diamètre portant chacune 24 aubes.

La vapeur est fournie par huit chaudières d'acier, longues de $8^m,53$ et dont le corps cylindrique a $2^m,13$ de diamètre; elles renferment chacune 143 tubes de $0^m,09$ de diamètre et de $4^m,87$ de longueur. La surface de chauffe totale des huit chaudières est de $1.824^{m^2},54$ et la surface de grille de $26^{m^2},75$. Les chaudières sont disposées par couples; elles sont placées sur les côtés et de part et d'autre des chambres des roues. Elles sont reliées aux machines de telle manière qu'on peut n'en employer qu'une, ou se servir de toutes à volonté.

Les machines sont placées, non pas côte à côte à la manière ordinaire, mais l'une devant l'autre et suivant l'axe longitudinal du bateau; elles se trouvent de part et d'autre de l'axe transversal et à une distance de $2^m,45$ de cet axe. Cette disposition a pour but de laisser sur le pont la place nécessaire pour quatre voies de chemins de fer. Chacune des roues est menée par une des machines et est indépendante de l'autre; cet arrangement rend les manœuvres bien plus faciles quand il s'agit d'accoster aux cales.

Parmi les particularités intéressantes au point de vue de la construction, nous signalerons la présence de quatre poutres, du sys-

tème Pratt, placées directement sous chacune des voies et dont les différentes sections ont été calculées en raison des efforts qu'elles ont à supporter. Elles donnent au bac une grande raideur dans le sens longitudinal et relient le pont avec la membrure. Le bac se trouve ainsi n'être en réalité qu'une vaste poutre flottante. On a de plus établi dans le sens transversal onze cloisons étanches, qui divisent la coque en douze compartiments, et mettent le bateau à l'abri de sombrer, tout en augmentant la raideur générale de la construction.

A chaque bout se trouvent quatre gouvernails, solidaires les uns des autres, longs de 3m,50 et hauts de 1m,67. On les manœuvre à l'aide d'appareils hydrauliques actionnés par des machines indépendantes. Tout ce système est relié à la manière ordinaire avec la roue de gouvernail. Afin que les pilotes puissent voir distinctement devant eux aussi bien à l'avant qu'à l'arrière, ils sont logés dans des cabines situées à 12 mètres au-dessus du pont. Ce dernier est aussi surmonté de quatre passerelles. Celles d'avant et d'arrière portent les cabines des pilotes.

Les quatres voies établies sur le pont peuvent recevoir 48 wagons à marchandises avec la locomotive ou 24 voitures à voyageurs du plus grand modèle.

Les tabliers qui mettent le bac en communication avec les cales à Benicia et Port-Costa ont chacun 30m,78 de longueur; ils portent quatre voies et sont disposés de telle manière que les trains peuvent pénétrer sur le bac, machine en tête, sans qu'on soit obliger de découpler. Chaque tablier pèse 150 tonnes; ils se manœuvrent au moyen de l'eau sous pression et d'un système de pontons et de contre-poids.

Le bac renferme des logements commodes pour les officiers et l'équipage. Il y a en outre des bureaux spéciaux pour l'expédition des affaires de la Compagnie. (Extrait du *Railroad Gazette*.)

O. C.

N° 67

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1880.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° Mathématiques pures.

Amigues (E.). — De quelques propriétés d'une famille de courbes représentée par une équation différentielle à deux variables; par E. Amigues, professeur de mathématiques spéciales au lycée de Nîmes. In-8°, 12 p. Paris, imp. Chaix et Cie; 76, rue de Rennes. (13 mai.)

Aoust. — Réponse de M. l'abbé Aoust à la lettre de M. Habich, sur une question de priorité et sur l'analyse infinitésimale des courbes planes de M. Aoust. In-8°, 16 p. Marseille, imp. Barlatier-Feissat, père et fils.

Benoit-Duportail (A. C.). — Traité élémentaire et pratique de la résolution générale des équations d'un degré quelconque; par A.-C. Benoit-Duportail. In-8°, 71 p. Paris, imp. et lib. Lacroix. 5 fr. (15 juin.)

Boussinesq (J.), — Addition à une étude concernant divers points de la philosophie des sciences; par M. J. Boussinesq. Sur l'impossibilité d'arriver aux notions géométriques par une simple condensation d'un grand nombre de résultats de l'expérience. In-8°, 8 p. Paris, lib. Gauthier-Villars.

Brillouin (M.). — Intégration des équations différentielles auxquelles conduit l'étude des phénomènes d'induction dans les circuits dérivés; par M. Marcel Brillouin, docteur ès sciences mathématiques, agrégé préparateur de physique au Collège de France. In-4°, 45 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (27 juillet.).

CALLANDREAU (O.). — Détermination des perturbations d'une petite planète par les méthodes de M. Gylden. Application à Héra; par M. Octave Callandreau, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 47 p, Paris, lib. Gauthier-Villars. (15 juin.).

COLLIGNON (Ed.). — Note sur l'inscription dans le cercle du polygone régulier de dix-sept côtés; par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 8 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (24 mai.).

—— Problème de géodésie; par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 10 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (13 mai.).

DESBOVES. — Questions de géométrie élémentaire. Méthodes et solutions, avec un exposé des principales théories et de nombreux exercices proposés; ouvrage destiné aux élèves des lycées, depuis la classe de troisième jusqu'à celle des mathématiques spéciales inclusivement; par M. Desboves, agrégé et docteur ès sciences. 3e édition, revue et augmentée. In-8°, 439 p. et 12 pl. Paris, lib. Delagrave. (7 mai.).

DUFAILLY (J.). — Géométrie; par J. Dufailly, professeur au collège Stanislas. 3e *édition*. In-8°, 391 p. avec figures. Paris, lib. Delagrave. 5 fr.

—— Éléments de géométrie descriptive (ligne droite et plan); par J. Dufailly, professeur. 5e *édition*. In-8°, 208 p. avec fig. Paris, lib. Delagrave. (23 juillet.).

DUPONT. — Sur un mode particulier de représentation des imaginaires; par M. Dupont, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 67 p. Paris, lib. Gauthier-Villars. (15 juin.).

ESCLAIBES (d'). — Sur les applications des fonctions elliptiques à l'étude des courbes du premier genre; par M. l'abbé d'Esclaibes, ancien élève de l'École polytechnique, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 128 p. Paris, lib. Gauthier-Villars. (1er juin.).

FILACHOU (J.-E.). — De la contradiction en philosophie mathématique; par J.-Émile Filachou, docteur ès lettres. In-12, 91 p. Montpellier; Paris, lib. Durand et Pedone-Lauriel.

GUILLEMIN (A.). — Les Nébuleuses, notions d'astronomie sidérale; par Amédée Guillemin. In-18 jésus, VIII-212 p. avec 66 fig. Coulommiers. Paris, lib. Hachette et Cie, 1 fr. 25.

HATT (P.). — Usage du cercle méridien portatif pour la détermination de l'heure et des positions géographiques; par M. P. Hatt, ingénieur hydrographe. In-8°, II-153 p. avec fig. Paris, imp. nationale; lib. Challamel aîné. 5 fr. (5 mai).

HOUEL (J.). — Cours de calcul infinitésimal; par J. Houël, professeur de mathématiques pures à la faculté des sciences de Bordeaux. T. II, in-8°, 483 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (15 juillet.)

JULIA (J.). — Petit recueil de formules et résultats numériques à l'usage des élèves de l'enseignement spécial; par M. Julia, professeur pour l'enseignement secondaire spécial au lycée de Marseille. In-18, 20 p. Marseille, imp. Seren.

LAGRANGE (M.-C.). — De l'origine et de l'établissement des mouvements astronomiques. 2 vol. Bruxelles, 1879. In-4°, 48 p. Mit. 1 Taf. 70 p. 5 m.

LAISANT. — Sur la transformation exponentielle; par M. Laisant, docteur ès sciences mathématiques. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et C[ie], 76, rue de Rennes. (13 mai.)

LANDRÉ (C.-L.). — Remarques sur les solutions singulières des équations différentielles du premier ordre à deux variables; par Corneille L.-Landré (de Dordrecht). In-8°, 4 p. Paris, imp. Chaix et C[ie]; 76, rue de Rennes. (5 juillet.)

LAURENS (C.). — Essais pour les coniques de Pascal, avec des notes par M. Ch. Laurens, professeur honoraire. In-8°, 25 p. avec 13 fig. Paris, imp. Chaix et C[ie]; lib. Delagrave. (23 juillet.)

LAURENT (H.). — Théorie élémentaire des fonctions elliptiques. In-8° avec fig. dans le texte. 1880. 3[f],50.

LEFÉBURE DE FOURCY. — Leçons d'algèbre; par Lefébure de Fourcy, professeur honoraire à la faculté des sciences de Paris, 9[e] *édition*. In-8°, 545 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (10 juillet.)

MARSILLY (L.-J.-A. de C. de). — Mémoire sur une méthode de calcul appropriée aux corps discontinus qui obéissent à des actions à distance; par M. le général L.-J.-A. de C. de Marsilly. In-8°. 13 p. Paris, imp. Chaix et C[ie]; 76, rue de Rennes. (5 juillet.)

NIEWENGLOWSKI. — Exposition de la méthode de Riemann pour la détermination des surfaces minima de contour donné; par M. Niewenglowski, docteur ès sciences mathématiques, professeur au collège Rollin. In-4°, 82 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (18 mai.)

PARMENTIER. — Sur la quadrature des paraboles du troisième degré; par M. le général Parmentier. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et C[ie]; 76, rue de Rennes. (13 mai.)

PRADOU (E. de). — Méthode propre à déterminer les valeurs de P et les valeurs positives de Q qui sont susceptibles de rendre le polynome V divisible par le trinome $x^2 - 2px + p^2 + q$; par Er-

nest de Pradou, professeur de mathématiques. In-8°, 15 p. Paris, lib. Marescq aîné. (4 septembre.)

PROMPT. — Théorie mathématique des abordages; par M. le docteur Prompt, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, 9 p. avec 3 fig. Paris, imp. Chaix et Cie; 76, rue de Rennes. (13 juillet.)

RITTER (F.). — Quelques inventions mathématiques de M. Viète; par M.-F. Ritter, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et Cie; 76, rue de Rennes. (24 mai.)

SCHOUTE (P.-H.). — De la projection sur une surface; par M. le docteur P. H. Schoute. In-8°, 31 p. Paris, imp. Chaix et Cie; 76, rue de Rennes. (24 mai.)

TILLY (J.-M. de). — Essai sur les principes fondamentaux de la géométrie et de la mécanique. Bruxelles, 1879. In-8°, VIII, 192 p. Mit 1 Taf. 5 m.

YVON-VILLARCEAU. — Application de la théorie des sinus des ordres supérieurs à l'intégration des équations linéaires; par M. Yvon-Villarceau. In-8°, 12 p. Paris, imp. Capiomont et Renaut. (14 août.)

2° Mécanique. — Construction.

ARMENGAUD aîné. — Album de machines-outils. Travail des métaux; par Armengaud aîné, ingénieur, ancien élève à l'École centrale des arts et manufactures. Paris, lib. Bernard, éditeurs.

B..... (Charles). — Note sur les foyers à combustion méthodique, système de M. Parisot, directeur technique aux forges-laminoirs de Champigneulles; par Charles B....., ingénieur. In-8°, 8 p. et planche. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie.

BARBA (J.). — Étude sur la résistance des matériaux. Expériences à la traction; par J. Barba, ingénieur principal des usines du Creusot. In-8°, 35 p. et 2 pl. Paris, imp. Capiomont et Renault. (6 août.)

BARBIER (H.-G.). — Le marteau-pilon de 80 tonnes des usines de Saint-Chamond; par H.-G. Barbier, capitaine d'artillerie. In-8°, 8 p. et planche. Nancy, imp. Berger-Levrault.

BERETTA et DESNOS (E.). — Les nouvelles chaudières à vapeur, notamment celles qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1878. Description et étude générale de générateurs les plus récents, par MM. C. Beretta, ingénieur civil, ancien élève de l'École des

mines, et E. Desnos, ingénieur civil. 30 pl, gr. in-8°, en couleur, et 3 livr. texte gr. in-4°. Pr. 30 fr.

BROWN (F.). — Cinq cent sept mouvements mécaniques renfermant tous ceux qui sont les plus importants dans la dynamique, l'hydraulique, l'hydrostatique, la pneumatique, les machines à vapeur, les moulins et autres machines diverses et contenant beaucoup de mouvements inédits et plusieurs qui sont seulement depuis peu en usage, par Henri F. Brown, traduit de l'anglais, avec l'autorisation de l'auteur, par Henri Stevart, ingénieur. 1 vol. in-12, cart. toile anglaise. 3 fr.

Cet ouvrage est en vente chez M. Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55, Paris.

CASALONGA (D.), ingénieur. — Mémoire sur l'Exposition universelle 1878. Introduction sur l'exposition, description des appareils mécaniques et métallurgiques, générateurs, moteurs à air chaud, à gaz, à pétrole, machines à vapeur, système Wolff, Compound, Corliss. Enseignement professionnel technique. 1 vol. in-8° de 200 p. et 27 pl. Paris, Baudry, éditeur. Pr. 16 fr.

CLERC (A.). — Mémoire sur une nouvelle théorie de la résistance des poutres; par M. A. Clerc, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 40 p. et planche. Paris, imp. Capiomont et Renault. (9 septembre.)

CLEUET. — Mémoire sur un pyromètre-régulateur de température présenté à la Société industrielle du nord de la France; par M. Cleuet. In-8°, 8 p. Lille, imp. Danel.

COLLIGNON (E.). — Cours de mécanique appliquée aux constructions. Deuxième partie: Hydraulique; par Edouard Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2e *édition*, revue et augmentée. In-8°, VI-724 p. avec 259 fig. Paris, lib. Dunod. (14 août.)

CORENWINDER (B.). — Compte rendu des travaux de la Société industrielle du nord de la France; par M. B. Corenwinder, secrétaire général. In-8°, 18 p. Lille, imp. Danel.

DEGUIN. — Précis de mécanique théorique et appliquée, de M. Deguin, ancien professeur de physique et doyen de la faculté des sciences de Besançon. *Nouvelle édition*, mise au courant des nouveaux programmes de l'enseignement des lycées et du baccalauréat ès sciences, par M. Armand Mesnard, professeur de mécanique industrielle à l'École supérieure des sciences et des lettres de Nantes. 2e *édition*, revue, corrigée et augmentée. In-12, VIII-210 p. avec figures. Paris, lib. Belin.

GAYFFIER (de). — Manuel des ponts et chaussées. 2e partie : Ponts et Aqueducs en maçonnerie ; par M. J. de Gayffier, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 5e *édition*, revue et corrigée par M. Eug. de Gayffier, ingénieur, conservateur des forêts. 1 vol. accompagné de planches. 3f,50.

HAUVEL (C.). — Notice sur le surchauffeur différentiel de M. Ch. Hauvel, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 40 p. Paris, l'auteur, 48, boulevard Voltaire.

LAGARRIGUE (F.). — Notions de mécanique expérimentale et de géométrie pratique ; par F. Lagarrigue, professeur de sciences. In-18, 148 p. Paris, imp. et lib. P. Dupont. (30 juillet.)

PLANAT (P.). — Chauffage et ventilation des lieux habités ; par P. Planat, rédacteur en chef de la *Semaine des constructeurs*. 1 fort vol. grand in-8°, de plus de 600 pages, avec 330 dessins et gravures sur bois, intercalés dans le texte. Paris, Ducher et Cie, éditeurs. Pr. broché : 30 fr.

PÉRISSÉ (S.). — Mémoire sur le chauffage et la ventilation de l'école Monge ; par M. Sylvain Périssé, ingénieur. In-8°, 23 p. et pl. Paris, imp. Capiomont et Renault. (23 juin.)

SCHMIDT (E.). — Résultats de quelques études expérimentales récentes sur les machines à vapeur ; par M. E. Schmidt, ingénieur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, l'Aisne et l'Oise. In-8°, 18 p. et planche. Amiens, imp. Jeunet.

SEYRIG. — Note sur quelques cas spéciaux de montage des ponts métalliques ; par M. T. Seyrig. In-8°, 9 p. et planche. Paris, imp. Capiomont et Renault. (14 août.)

WAZON (A.). — L'Hydrodynamique à l'Exposition universelle de 1878. Rapport historique sur les ventilateurs et pompes centrifuges simples et multiples ; par A. Wazon, ingénieur conseil, rapporteur du jury international de 1879, à Paris. In-8°, 80 p. avec 22 fig. et 7 pl. Paris, lib. Lacroix. 5 fr. (15 juin.)

WORMS DE ROMILLY. — Note sur un système de voitures à vapeur ; par M. Worms de Romilly, ingénieur des mines. In-8°, 24 p. Paris, lib. Dunod. (1879, 15 mai.)

3° Navigation maritime et intérieure.

BONABRY (A.). — Polémique entre l'administration des ponts et chaussées et l'auteur du mémoire : Inondations, causes principales et préservatifs ; par A. Bonabry, de la Société des études

littéraires, scientifiques et artistiques du Lot. (Rapports, concessions, aveux, documents.) In-8°, 32 p. Cahors, imp. Delpérier; tous les lib.; l'auteur, 2, cours de la Chartreuse.

BERTIN (L.-E.). — Données théoriques et expérimentales sur les vagues et le roulis (suite); par L.-E. Bertin, ingénieur des constructions navales. In-8°, p. 277 à 343 et planches. Paris, lib. Gauthier-Villars.

CHANEL (C.). — L'Atelier du canal de Panama; par César Chanel, délégué de la Martinique au congrès interocéanique. In-8°, 8 p. Paris, imp. Mouillot. (15 juillet.)

CHOPINEAUX (P.). — Étude sur le désenvasement des barrages; description des moyens propres à y parvenir; par P. Chopineaux, directeur des contributions directes et du cadastre. In-8°, 15 p. Constantine, imp. Marle.

COTARD (C.). — Étude sur la question des voies navigables; par M. Ch. Cotard. In 8°, 28 p. Paris, imp. Capiomont et Renault. (13 mai.)

FLAMANT (A.). — Canal du Nord sur Paris, notice sur l'avant-projet; par A. Flamant, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-4°, 86 p. et 5 planches. Lille, imp. Danel.

FLAMANT (A). — De l'influence des courbes et de la section transversale des canaux sur la vitesse de marche des bateaux; par M. Flamant, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 24 p. Paris, librairie Dunod. (26 juin.)

GOLDSCHMIDT (P.) et G. MERCIER. — Les Voies navigables en Autriche devant la Chambre des députés. Considérations sur le rapport de M. le député Alexandre Friedmann; par le docteur Ph. Goldschmidt et G. Mercier, ingénieurs civils à Vienne. In-8°, 39 p. Saint-Ouen. imp. Boyer; Paris, rue des Jeûneurs. (10 août).

HANS (Martial). — Mémoire sur les travaux de canalisation de la Meuse entre Namur et la frontière française; par Martial Hans, ingénieur en chef, directeur des ponts et chaussées de Belgique (Bruxelles, imp. F. Callewaert, 1880). 1 volume avec 6 planches.

HÉRAUD (G.). — Annuaire des marées de la Basse-Cochinchine et du Tong-Kin pour l'an 1881; par M. G. Héraud, ingénieur hydrographe de la marine. In-32, 43 p. Lib. Challamel aîné. 75 c.

NOUVELLES (les) voies maritimes. I. Canal de Suez. Conférence faite à la Société de géographie d'Arras, le 29 juillet 1880, par le secrétaire de la Société. In-18, 34 p. et carte. Arras, imp. Bradier; tous les lib., 25 centimes.

PICARD (A.).— Canal de la Marne au Rhin; alimentation du versant de la Meurthe; construction du réservoir de Paroy; notice par

M. A. Picard, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 46 p. Paris, lib. Dunod. (26 juin.)

PICARD (A.) et BRUNIQUEL. — Canal de la Marne au Rhin. Exhaussement à 2 mètres du mouillage; mémoire par MM. A. Picard et Bruniquel, ingénieurs. In-8°, 111 p. Paris, imp. Arnous de Rivière : lib. Dunod. (26 juin.)

PLOIX, GERMAIN, etc.— Recherches hydrographiques sur le régime des côtes (5e cahier); par MM. Ploix, Germain, Manen, Vidalin, Bouquet de la Grye, Héraud et Estignard. 1 volume in-4° avec 32 cartes ou plans. Prix : 15 fr. Paris, Challamel aîné, libraire-éditeur.

SIMON (C.). — Mémoire sur la nouvelle navigation astronomique; par M. Ch. Simon, ancien directeur de l'observatoire de Marseille. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (13 mai.)

4° Chemins de fer.

BADOIS (E.). — Note sur les conditions de construction et d'exploitation d'un réseau de chemins de fer économiques à voie étroite dans le département du Cher, soumise au conseil général en août 1880; par E. Badois, ingénieur. In-8°, 22 p. Paris, impr. Capiomont et Renault. (19 août.)

BAUM (C.). — Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemin de fer; par M. Charles Baum, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 128 p. Paris, lib. Dunod. (14 août.)

BRESSON. — Les Narrow-Gauges. Études pratiques des voies ferrées sur routes. Paris, 1879. In-8°. 32 p.

CAZENEUVE (A.). — Les chemins de fer à l'Exposition universelle; par Albert Cazeneuve. 3e série. Sections étrangères. In-8°, 119 p. avec tableaux. Paris, lib. Guillaumin et Cie.

CHAILLOU. — Tramways. Principes d'organisation d'une exploitation de tramways; par M. A. Chaillou, ingénieur civil, directeur de la compagnie générale des tramways suisses. 1 vol. in-8° avec atlas in-4°. Paris, lib. E. Lacroix. 12f,50.

CHÉROT, DE LABRY, J. GARNIER. — Discussion sur un plan de réorganisation des chemins de fer français; par MM. Chérot, de Labry, J. Garnier. In-8°, 16 p. Paris, lib. Guillaumin et Cie. (13 juillet.)

CHOPPARD (L.). — Des chemins de fer industriels; par Léon Choppard, docteur en droit. In-8°, 60 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie. Paris, même maison, 2 fr.

COLLADON. — Notes sur les inconvients et les difficultés du tunnel étudié sous le Mont-Blanc et de ses lignes d'accès projetées, avantages incontestables d'un chemin de fer international par le Simplon; par D. Colladon, correspondant de l'institut de France, ingénieur-conseil de l'entreprise du tunnel de Saint-Gothard, membre du conseil permanent de l'association du chemin de fer sous-marin entre la France et l'Angleterre. Avec une carte-tracé comparatif des hauteurs du tunnel du Simplon et du Mont-Blanc. Brochure in-8° de 79 p., 1880. Prix : 1f,20. Paris, lib. A. Drouin.

—— Mémoire sur les travaux d'avancement du tunnel du Saint-Gothard et sur le raccordement exact des deux galeries, effectué le 29 février 1880; par M. Daniel Colladon, ingénieur. In-8°, 17 p. Paris, imp. Capiomont et Renault. (13 mai.)

COLONIEU. — Le tracé central du chemin de fer transsaharien; par le général Colonieu. 2e *édition*, 1 fr. In-8°, 32 p. et carte. Langres, lib. Challamel aîné.

DESAILLY (B.). — L'Espagne et ses chemins de fer. La compagnie Lérida-Reus-Tarragone, son passé, son présent, son avenir; par B. Desailly, manufacturier. In-8°, 48 p. et planche. Valenciennes, imp. Giard et Seulin.

EXPLOITATION (l') des chemins de fer par l'État. In-8°, 7 p. Paris, imp. Chaix et Cie. (2 juin.)

FELLOT. — Visite des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition de 1878. Le Matériel roulant des chemins de fer; par M. Fellot, ingénieur civil, inspecteur du matériel à la Compagnie des chemins de fer du Midi. In-8°, 52 p. Saint-Germain, imp. Bardin.

FRANCQ (L.). — La Locomotive sans foyer, ses résultats pratiques; applications diverses de son principe; par M. Léon Francq, ingénieur à Paris. In-8°, 7 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (19 juillet.)

Association française pour l'avancement des sciences, congrès de Montpellier, 1879.

JACQMIN (F.). — Le Matériel des chemins de fer à l'Exposition universelle de 1878 à Paris; par M. F. Jacqmin, directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est. In-8°, 528 p. Paris, imp. nationale. (30 juin.)

JACQUIER (J.). — Projet de loi relatif aux chemins de fer d'intérêt local; observations sur ses dispositions financières; par J. Jacquier, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 15 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie; Paris, même maison.

LACOU (J.). — Tramways et chemins de fer sur routes, système à un et deux rails avec voie étroite; par Jean Lacou. in-8°, 26 p. avec cartes et plans. Bordeaux, imp. Chariol.

LEHAGRE (A.). — Cours de topographie à l'École d'application de l'artillerie et du génie. Troisième partie : Opérations trigonométriques, etc.; par A. Lehagre, professeur de topographie. Grand in-8°, XVI-276 p. et 12 pl. Paris, imp. nationale. (21 août.)

LEJEUNE (C.). — La Vérité sur les tarifs des chemins de fer; par Ch. Lejeune, ingénieur civil. In-8°, 20 p. Paris, imp. Capiomont et Renault. (20 mai.)

MOLINOS (L.). — La Question des chemins de fer de l'État en Belgique; lettre de M. L. Molinos, ingénieur, à M. le président de la Société des ingénieurs civils. In-8°, 16 p. Paris, imp. Chaix et Cie. (31 mai.)

MARCHEGAY (A.). — Les Lignes de transit international de l'ouest de la France; par M. Alphonse Marchegay, ingénieur civil des mines. In-8°, 18 p. et carte. Lyon, imp. Storck.

NEYMARCK (A.). — Les Chemins de fer devant le parlement; par Alfred Neymarck. In-8°, 60 p. Amiens, imp. Douillet et Cie; Paris, lib. Guillaumin et Cie. 1f,50.

PARANDIER. — Chemins, routes et tramways dans les montagnes frontières; par M. Parandier, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 28 p. et carte. Paris, lib. Dumaine. 1f,50. (2 août.)

PONTZEN (E.). — Chemin de fer de l'Arlberg; par M. E. Pontzen. In-8°, 16 p. et plan. Paris, imp. Capiomont et Renault. (6 juillet.)

QUESTION (la) des chemins de fer. In-16, 32 p. Troyes, imp. Brunard.

5° Législation. — Administration. — Économie politique.

BAS DE CESSO (L.). — Des cours d'eau privés, en droit romain; des cours d'eau non navigables ni flottables, en droit français; par Louis Bas de Cesso, avocat, docteur en droit. In-8°, 231 p. Toulouse, imp. Rivière et Cie.

BERGERET (G.). — Mécanisme du budget de l'État; par Gaston Bergeret, secrétaire-rédacteur de la Chambre des députés. In-8°, VI-126 p. Paris, imp. et lib. Quantin. (14 mai.)

BERTILLON (J.). — La Statistique humaine en France (naissance,

mariage, mort); par Jacques Bertillon. In-32, 190 p. Paris, lib. Germer Baillière et Ce. 60 centimes.

BOURCART (G.). — Étude historique et pratique sur les actions possessoires; par Gabriel Bourcart, Dr en droit, avocat à la cour d'appel. In-8°, VIII-360 p. Paris, lib. Pedone-Lauriel. (25 août.)

CAUWÈS (P.). — Précis du cours d'économie politique professé à la faculté de droit de Paris, contenant, avec l'exposé des principes, l'analyse des questions de législation économique; par Paul Cauwès, agrégé, chargé d'un cours d'économie politique à la faculté de droit de Paris. T. II. Deuxième partie : Économie publique. In-8°, p. 351 à 741. Paris, lib. Larose. 8 fr.

CHÉFIK-BEY (Mansour). — L'Article 757 du Code civil. Application des mathématiques à la jurisprudence; par Chéfik-Bey (Mansour), du Caire, étudiant à la faculté de droit de Paris. In-8°, 31 p. Paris, imprimerie et librairie Gauthier-Villars. (12 juillet.)

CLÈRE (J.). — Les Tarifs de douane, tableaux comparatifs contenant : 1° le tarif général actuellement en vigueur; 2° le tarif conventionnel actuellement en vigueur; 3° le tarif général proposé par le gouvernement; 4° le tarif général proposé par la commission; avec répertoire alphabétique; par M. Jules Clère, secrétaire-adjoint de la commission des douanes. In-4°, 99 p. Paris, imp. et lib. Quantin. 3 fr. (26 mai.)

FERRAND. — Les Institutions administratives en France et à l'étranger; par M. Ferrand. 1 vol. in-8°. Prix : 6 fr. Paris, lib. Guillaumin.

FOVILLE (de). — La Transformation des moyens de transport et ses conséquences économiques et sociales; par M. de Foville. 1 vol. in-8°. Prix : 7f,50. Paris, lib. Guillaumin.

GARNIER (Joseph). — Traité d'économie politique, par M. Joseph Garnier, membre de l'Institut, rédacteur en chef du *Journal des Economistes*, 8e *édition*. Très fort volume in-8°. Prix : 7f,50. Paris, lib. Guillaumin.

HABERT (J.). — Leçons familières d'économie politique; par J. Habert, inspecteur d'Académie. In-18 jésus, 384 p. Versailles, imp. Cerf et fils. Paris, lib. Hachette et Cie.

LABRY (de). — Note sur le profit des travaux; par de Labry, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 14 p. Paris, lib. Dunod. (29 mai.)

LAMANE (H.). — La Question des chemins de fer (le rachat); par H. Lamane, de la Société d'économie politique. In-8°, 35 p. Paris, lib. Guillaumin et Cie. (30 juin.)

LA TOUR (E. de).— M. Le Play et les Ouvriers européens; par E. de La Tour. 2e *édition*. In-18, 36 p. Paris, lib. Dentu, Larcher.

LECESNE (P.). — Conseil de préfecture du département du Pas-de-Calais; statistique, jurisprudence, affaires portées devant le conseil, du 1er novembre 1878 au 31 décembre 1879; par Paul Lecesne, docteur en droit, vice-président du conseil de préfecture. In-8°, 32 p. Arras, imp. Laroche.

LEROY-BEAULIEU. — Traité de la science des finances; par M. Paul Leroy-Beaulieu, 2e *édition*. 2 beaux volumes in-8°. Prix : 24 fr. Paris, lib. Guillaumin.

MALAPERT (F.). — Histoire de la législation des travaux publics; M. F. Malapert, docteur en droit, avocat à la cour d'appel. 1 volume in-8° d'environ 560 p. Paris, Ducher, éditeur.

PÉPRATX (E.). — Espagne : nouvelles études économiques et financières; par Eugène Pépratx, de la Société agricole, scientifique et littéraire des Pyrénées-Orientales. In-8°, 26 p. Perpignan, imp. Latrobe.

PEZOUS (Émile). — Des devis et marchés au point de vue du droit civil; par Émile Pezous, docteur en droit, lauréat de la Faculté de droit de Paris et du concours général. 1 volume in-8° : 4 fr. Paris, lib. Larose.

PRALY (Prosper). — De la Jurisprudence en matière de travaux publics, 1869 à 1874. Recueil de jurisprudence du Conseil d'État et de la Cour de cassation, et Répertoire des lois, décrets, ordonnances, règlements et circulaires en matière de travaux publics, par M. Prosper Praly, ingénieur consultant. 1 vol. grand in-8° : 10 fr.

RENDU (Ambroise). — Code Perrin ou Dictionnaire des constructions et de la contiguïté : législation complète des servitudes et du voisinage; du sol bâti, cultivé ou planté; de ses produits, des engrais, etc.; des établissements classés, des usines, des cours d'eau, du drainage et des irrigations; du bornage, de l'affouage, des clôtures urbaines et rurales; des voies ferrées, routes, chemins, etc. — Édition entièrement refondue et classée par ordre alphabétique, avec indications marginales; par M. Ambroise Rendu, docteur en droit, avocat à la Cour de cassation et au Conseil d'État. — Revu et mis au courant jusqu'à ce jour, par Jean Sirey, avocat à la Cour d'appel de Paris. 5e *édition*. Paris, lib. Cotillon et Cie.

RICOUX (R.). — La Démographie figurée de l'Algérie : étude statistique des populations européennes qui habitent l'Algérie, avec 12 tableaux graphiques traduisant les principales conclusions;

par le docteur René Ricoux; préface de M. le professeur Bertillon. 1 volume grand in-8° de 304 p. Prix : 9 fr.; lib. Masson.

SERF (A.). — Les Eaux à Paris; appréciations d'un contribuable sur la nouvelle convention des eaux intervenue entre la ville de Paris et la compagnie générale des eaux; par M. A. Serf, ingénieur-conseil du comité de pétitionnement pour le gaz et de diverses chambres syndicales. Brochure in-4° : 1f,50. Paris, E. Lacroix, éditeur.

VIGNES (E.) et VERGNIAUD. — Traité des impôts en France considérés sous le rapport du droit, de l'économie politique et de la statistique, suivi du mouvement détaillé de la dette publique depuis 1789; par M. Édouard Vignes, de la Société d'économie politique de Paris. 4e *édition*, mise au courant de la législation par M. Vergniaud, secrétaire général de la préfecture de la Seine. 2 vol. In-8°, V-1063 p. Paris, lib. Guillaumin et Cie.

6° Physique. — Météorologie. — Géologie. — Minéralogie.

BOUILLEROT (A.). — L'Homme des cavernes et les animaux quaternaires autour de la montagne de Morey (Haute-Saône) : Deuxième mémoire d'archéologie préhistorique; par Achille Bouillerot (de Cintrey). In-8°, 107 p. et 5 planches. Vesoul, imp. Suchaux.

BREGUET (A.). — Actualités scientifiques. La machine de Gramme, sa théorie et sa description; par Antoine Breguet, directeur de la *Revue scientifique*. In-18 jésus, 83 p. avec 35 figures. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (17 août.)

CARLES (P.). — Influence exercée sur les réactions chimiques par les agents physiques autres que la chaleur; par P. Carles docteur en médecine, agrégé (section de chimie et de pharmacologie). In-4e, 148 p. Paris, lib. J.-B. Baillière et fils. (24 juillet.)

CARNOT (A.). — Tableaux des essais de combustibles minéraux faits au bureau d'essai de l'École des mines; par Ad. Carnot. professeur à l'École des mines. In-8°, 70 p. Paris, lib. Dunod. (1879.) (15 mai.)

CHANTREL (J.). — Le Télégraphe électrique; par J. Chantrel. 6e *édition*. In-12, 71 p. Lille, lib. Lefort; Paris, même maison.

CORNU (A.). — Les Instruments de précision à l'Exposition universelle internationale de 1878, à Paris; par M. A. Cornu, professeur de physique à l'École polytechnique. In-8°, 24 p. Paris, imp. nationale. (6 septembre.)

COTTEAU. — Considérations stratigraphiques et paléontologiques sur les échinides de l'étage cénomanien de l'Algérie; par M. Cotteau, ancien president de la Société géologique de France. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (25 août.)

DECHARME (C.). — Formes vibratoires des bulles de liquide glycérique; par C. Decharme, ex-professeur de physique à l'École préparatoire à l'enseignement supérieur des sciences et des lettres et au lycée d'Angers. In-8°, 44 p. et 6 planches. Angers, imp. Lachèse et Dolbeau.

DELESSE et DE LAPPARENT. — Extraits de géologie pour les années 1877 et 1878; par MM. Delesse et de Lapparent. In-8°, 242 p. Paris, lib. Dunod. (14 août.)

DIETZ (E.). — Observations météorologiques faites pendant l'année 1878-79 à Rotheau (Vosges); par Émile Dietz, pasteur. In-8°, 10 p. et 2 tableaux. Saint-Dié, imp. Humbert.

FOREL (F.-A.). — Les Faunes lacustres de la région subalpine; par M. le professeur F.-A. Forel, de Morges (Suisse). In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (10 août.)

GARIEL. — Appareils et expériences pour les démonstrations élémentaires d'optique; par M. Gariel, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. In-8°, 5 p. avec 3 figures. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (24 mai.)

GAUDRY (A.). — Matériaux pour l'histoire des temps quaternaires; par Albert Gaudry, professeur de paléontologie au Muséum d'histoire naturelle. Deuxième fascicule; de l'existence des Saïgas en France à l'époque quaternaire. In-4°, p. 63 à 82 et 3 pl. Paris, lib. Savy. (14 mars.)

GONNARD (F.). — Note sur quelques faits minéralogiques observés dans les granits des bords de la Saône; par F. Gonnard, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 8 p. Lyon, imp. Riotor.

GUIEYSSE (P.). — Étude sur les sondages; par M. Paul Guieysse, ingénieur hydrographe de la marine. In-8°, 24 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (5 juillet.)

HANRIOT (M.). — Hypothèses actuelles sur la constitution de la matière; par le docteur Maurice Hanriot, agrégé (section des sciences accessoires). In-8°, 133 p. Paris, lib. Germer Baillière et Cie. (22 juillet.)

IMBERT (A.). — Recherches théoriques et expérimentales sur l'élasticité du caoutchouc; par M. A. Imbert, chef des travaux physiques à la faculté de médecine de Lyon, docteur ès sciences physiques. In-4°, VI-88 pages et planches. Lyon, imp. Goyard.

INSTRUCTION théorique pour la transmission du feu aux fourneaux de mines au moyen de l'électricité dynamique. In-18, 34 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Quantin. (9 juin.)

JEANJEAN (A.). — Étude sur l'oxfordien supérieur, le corallien et le néocomien inférieur dans les Cévennes, etc.; par M. A. Jeanjean, de la Société géologique de France. In-8°, 18 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (10 août.)

LAVAUD DE LESTRADE. — Étude sur quelques phénomènes météorologiques pendant l'hiver de 1879-1880, à Clermont et au Puy-de-Dôme; par l'abbé Lavaud de Lestrade. In-8°, 20 p. Clermont-Ferrand, imp. et lib. Thibaud.

LEBON (G.). — Note sur l'emploi de la dynamite gelée pendant les travaux exécutés à Saumur; par G. Lebon, capitaine d'artillerie, secrétaire de la commission mixte d'études sur la dynamite. In-8°, 12 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie; Paris, même maison.

LOCARD (A.). — Nouvelles recherches sur les argiles lacustres des terrains quaternaires des environs de Lyon; par Arnould Locard. In-8°, 37 p. Lyon, imp. Pitrat aîné; lib. Georg; Paris, lib. J.-B. Baillière et fils.

MANUEL pratique pour le chargement des dispositifs de mine et la mise du feu aux fourneaux. In-18, IV-136 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Quantin. (30 juin.)

MARCHAND (E.). — Note sur la distribution de la chaleur solaire sur différents points du globe terrestre dans les jours d'équinoxe et de solstice; par M. Eugène Marchand, correspondant de l'Académie de médecine à Fécamp. In-8°, 4 p. avec fig. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (23 juillet.)

DU MONCEL (T.). — Le Téléphone, le Microphone et le Phonographe; par le comte Th. du Moncel, de l'Institut. 3e *édition.* In-18 jésus, 391 p. avec 112 fig. Paris, lib. Hachette et Cie. 2^f^,25. (9 juin.)

OBSERVATIONS (météorologie) faites à la station du parc de la Tête-d'Or pendant l'année 1879. In-8°, 25 tableaux, Lyon, imp. Storck.

PETITON. — Note sur les mines de l'archipel des Féroë (îles de Suderoë et de Naalsoë); par M. Petiton, ingénieur conseil des mines. In-8°, 19 p. Paris, lib. Dunod. (14 août.)

POLY. — Études sur l'homme préhistorique dans la Haute-Saône. 1° L'Homme tertiaire, mémoire; par M. Poly, de la Société d'agriculture, sciences et arts de la Haute-Saône. In-8°, 38 p. et 2 planches. Vesoul, imp. Suchaux.

RITTER (C.). — Études hydronomiques. Influence des forêts sur les nappes liquides souterraines et sur la pluie; hypothèses; par Charles Ritter, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 22 p. Paris, lib. Dunod. (18 mai.)

RIVIÈRE (E.). — Le Pliocène de Castel d'Appio en Italie, nomenclature des fossiles qu'il renferme; par M. Émile Rivière. in-8°, 8 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (19 juillet.)

TOUCAS (A.). — Notice sur le terrain crétacé des Corbières; par M. A. Toucas, capitaine au 12e régiment d'infanterie, à Lodève. In-8°, 11 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76. rue de Rennes. (19 juillet.)

VUILLEMIN (E.). — Le Bassin houiller du Pas-de-Calais, histoire de la recherche, de la découverte et de l'exploitation de la houille dans ce nouveau bassin; par E. Vuillemin, ingénieur-administrateur de la compagnie des mines d'Aniche. T. I. Grand in-8°, 352 p. et 21 pl. Lille, imp. Danel.

7° Agriculture. — Irrigations. — Sujets divers.

ANDRÉ (d'). — Nouvelles observations sur l'extension de l'arrosage dans le département de la Haute-Garonne; par M. d'André, membre résidant de la Société d'agriculture de la Haute-Garonne. In-8°, 15 p. Toulouse, imp. Douladoure.

BAYE (J. de). — L'archéologie préhistorique; par le baron J. de Baye, de la Société des antiquaires de France. Grand in-8°, x-417 p. avec 59 fig. et 5 pl. lib.; Leroux. (20 août.).

BOSC (E.). — Dictionnaire raisonné d'architecture et des sciences et arts qui s'y rattachent; par Ernest Bosc, architecte. Livraisons 16 à 19 (commencement du t. IV). In-8° à 2 col., 116 p. et grav. Mesnil. Paris, lib. Firmin-Didot et Cie.

BOUILLET (M.-N.). — Dictionnaire universel des sciences, des lettres et des arts, avec l'explication et l'étymologie de tous les termes techniques, l'histoire sommaire des diverses branches des connaissances humaines et l'indication des principaux ouvrages qui s'y rattachent, rédigé, avec la collaboration d'auteurs spéciaux, par M.-N. Bouillet. 13e *édition* (4e de la refonte). Grand in-8° à 2 col., VIII-1847 p. Paris, lib. Hachette et Cie. 21 fr.

BOULAN (A.). — Les eaux et égouts de Paris; par A. Boulan, chef de bureau au ministère de l'intérieur. In-8°, 32 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie. Paris, même maison. 1^f,25.

BOUSSARD. — Choix de fontaines décoratives dessinées et gravées

par J. Boussard, architecte. Conditions de la souscription : l'ouvrage comprendra 50 pl. gravées à l'eau forte, par l'auteur, et sera publié en 2 liv. de 25 pl. Prix de la livraison : 30 fr. — Pour tout souscripteur aux Petites habitations françaises qui souscrira en même temps aux Fontaines le prix des deux ouvrages sera de 160 fr. au lieu de 180 fr. Paris, Morel et Cie, éditeurs.

Bout (H.). — Coup d'œil sur la pisciculture et ses procédés; par M. H. Bout. In-8°, 17 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie. Paris, même maison. 0f,75.

Cacheux (E.). — Études sur les habitations ouvrières exposées en 1878; par M. E. Cacheux, ingénieur. In-8°, 8 p. Paris, imp. Chaix et Cie; 76, rue de Rennes. (25 août.)

Chateau (Théodore). — Technologie du bâtiment, ou étude complète des matériaux de toute espèce employés dans les constructions. 1 vol. 224 p. et 1 carte, Paris, Ducher et Cie, éditeurs.

Chauvassaignes (F.). — Le Repeuplement des eaux. Réponse au Questionnaire publié par la commission d'enquête nommée par le Sénat, adressée à M. le sénateur Salneuve, commissaire désigné pour la région du Puy-de-Dôme et de la Loire ; par M. Franc Chauvassaignes, membre du conseil général du Puy-de-Dôme. In-8°, 42 p. Clermont-Ferrand, imp. Mont-Louis.

Detain (C.) et J. Lacroux. — Constructions en briques. La Brique ordinaire au point de vue décoratif; par J. Lacroux, architecte. Texte par C. Detain, architecte. Gr. in-4°, 51 p. avec 189 fig. Paris, lib. Ducher et Cie.

Docteur (C.). — Liaisons générales des vérités entre elles. Application de la théologie aux sciences; algèbre, mécanique, physiologie, etc.; par C. Docteur, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, xxii-415 p. et 4 tableaux. Paris, imp. De Soye et fils. (12 juillet.)

Dupressoir (A.). — Fabrication des superphosphates de chaux dans la ferme; par A. Dupressoir, propriétaire-agriculteur à Cerçay, par la Motte-Beuvron (Loir-et-Cher). In-12, 20 p. Orléans, imp. Puget et Cie.

Féret (L.). — Étude sur la situation de l'agriculture; lecture faite au congrès de l'Association normande en juillet 1879, à Argentan, par M. Léon Féret, ancien sous-préfet. In-12, 27 p. Alençon, imp. De Broise.

Gérard.— Manuel pratique du cubage des bois ; par Gérard, sous-directeur dans l'administration des accises de Belgique ; à l'usage des négociants en bois, constructeurs de navires, entrepreneurs,

agents forestiers, employés des douanes, de l'octroi, charpentiers, menuisiers, ébénistes, etc. Comprenant des exemples sur les méthodes de mesurage et de nombreuses applications sur le mécanisme des tables ou tarifs. 1 volume de 150 pages. Prix : 3f,50.

Gervais et R. Boulart. — Les Poissons d'eau douce, 1 vol. in-8° jésus avec 60 chromotypographies et 56 vignettes. Prix : 30 fr.; relié, 35 fr. — Les Poissons d'eau de mer, 2 vol. in-8° jésus avec 200 chromotypographies et 75 vignettes. Prix : 90 fr.; relié, 100 fr.

Synonymie, description, mœurs, frai, pêche et iconographie des espèces composant plus particulièrement la faune d'Europe, par H. Gervais et R. Boulart, aides-naturalistes au Muséum; avec une introduction par Paul Gervais, membre de l'Institut, professeur au Muséum. Paris, Rothschild, éditeur.

Gilbert (F.-H.). — Recherches sur les moyens d'étendre et de perfectionner la culture des prairies artificielles en Picardie; par F. H.-Gilbert, de l'Institut et de la Société d'agriculture de Paris. Mémoire couronné en 1877 par l'Académie d'Amiens et publié, avec une introduction, par M. Ch. Dufour, de la Société des agriculteurs de France. In-16, xxxv-159 p. Paris, lib. Dumoulin.

Girdwoyn (Michel). — Pathologie des poissons. Traité des maladies, des monstruosités et des anomalies des œufs et des embryons; par Michel Girdwoyn. 1 vol. in-folio. Prix : 20 fr. Paris, Rothschild, éditeur.

Hément (F.). — Menus propos sur les sciences; par Félix Hément. 5e *édition*, revue et corrigée. In-12, 298 p. Paris, lib. Delagrave. (23 juillet.)

Lebas (A.). — Barême des décomptes mensuels pour traitements, indiquant les sommes strictement dues aux intéressés, les retenues du 5 p. 100 et le net à payer en tenant compte du jeu des centimes, et suivi d'un tableau des retenues pour oppositions; par M. Alexandre Lebas, sous-chef de section, chargé du service de la comptabilité au contrôle des chemins de fer de l'Ouest (service de l'État). 1re *édition*. In-8°, 32 p. Paris, imp. Jousset. 1f,25. (5 août.)

Luçay (de). — L'Agriculture et les Dégrèvements d'impôts auxquels elle a droit; rapport présenté au conseil des agriculteurs de France, le 30 avril 1880, par le comte de Luçay, l'un des secrétaires de la société. In-8°, 44 p. Paris, imp. Donnaud. (10 mai.)

Narjoux (F.). — Les Écoles normales primaires; construction et installation; par Félix Narjoux, architecte de la ville de Paris.

In-8°, 320 p. avec 106 gravures. Paris, lib. Ve A. Morel et Cie; Delagrave. (17 juin.)

NARJOUX (F). — Monuments élevés par la ville de Paris, 1850-1880 : ouvrage publié sous le patronage de la ville de Paris; par Félix Narjoux, architecte. Cet ensemble des édifices élevés à Paris de 1850 à 1880, forme un recueil des œuvres de l'architecture moderne d'une importance sans égale, et dont la réalisation eût été matériellement impossible, sans le concours et le patronage de la ville elle-même. L'ouvrage sera divisé en 9 chapitres :

I. Édifices administratifs, mairies, hôtel de ville. — II. Édifices religieux, églises, temples, synagogues. — III. Édifices scolaires, écoles, collèges, lycées. — IV. Édifices consacrés aux beaux-arts, musées et théâtres. — V. Édifices décoratifs, fontaines, monuments commémoratifs. — VI. Édifices judiciaires, palais de justice, tribunaux, prisons. — VII. Édifices de la force publique, casernes. — VIII. Édifices sanitaires, hospices, hôpitaux, asiles d'aliénés. — Édifices d'intérêt général, halles et marchés.

L'ouvrage, format in-folio, comprendra 300 planches et un texte, et sera publié en 15 livraisons de 20 planches. Prix de la livraison : 22 fr. Paris, lib. Morel et Cie.

PIZZETTA (J.). — La Pisciculture fluviale et maritime en France. Culture de l'écrevisse et des sangsues, élevage, repeuplement des rivières, description des poissons, pêche, alimentation, lois et règlements sur la pêche; par Jules Pizzetta. Ouvrage augmenté d'un traité pratique sur l'ostréiculture, avec la législation sur la pêche maritime, statistique, etc., par M. de Bon, commissaire général au ministère de la marine. 1 vol. de 500 p. avec 212 gravures. Prix : 4 fr. Paris, lib. Rothschild.

POTIER (L.). — Les Instruments de labourage à La Réunion et à Maurice; par Léonce Potier. In-8°, 27 p. et figures. Saint-Denis (La Réunion), imp. Lahuppe.

PUY DE LABASTIE (J. L. O.). — Les Grandes lignes architecturales, rapports harmoniques avec les climats et l'esprit des diverses époques; par M. J. L. O. Puy de Labastie. 2e *édition*, augmentée et accompagnée de 85 vues d'après nature. In-4° p, IV-152. Paris, imprimerie Pillet et Dumoulin; librairie centrale d'architecture. (8 juillet.)

RAYET (Olivier). — Monuments de l'art antique, publiés sous la direction de M. Olivier Rayet, professeur suppléant au collège de France, directeur-adjoint à l'École des hautes études. 1re livraison. Prix : 25 fr., formant un beau volume in-folio colombier.

50 exemplaires numérotés, texte sur papier de Hollande et planche sur chine : 50 fr. Paris, Quantin, éditeur.

Résal et Vicaire. — Notice nécrologique sur M. Charles Couche, inspecteur général des mines ; par MM. Résal, de l'Institut, ingénieur en chef, et Vicaire, professeur à l'École des mines. In-8°, 8 p. Paris, lib. Dunod. (26 juin.)

Van der Mensbrugghe (G.). — Du rôle de la surface libre de l'eau dans l'économie de la nature ; par M. G. Van der Mensbrugghe, professeur à l'Université de Gand. In-8°, 8 p. Paris, imp. Chaix et Cie, 76, rue de Rennes. (10 août.)

N° 68

TRAITÉ

POUR LA PUBLICATION

DES

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

(Période 1881-1900).

Entre le Ministre des Travaux Publics, agissant au nom de l'État, d'une part,

Et M. DUNOD, libraire-éditeur, demeurant à Paris, quai des Augustins, n° 49, d'autre part,

Il a été arrêté et convenu ce qui suit :

ART. 1er. — M. DUNOD sera l'éditeur des *Annales des Ponts et Chaussées* pour la période de *vingt années*, comprise entre le 1er janvier 1881 et le 31 décembre 1900, aux conditions ci-après énoncées :

Constitution de la publication.

La publication se composera, annuellement comme par le passé : 1° des volumes consacrés aux mémoires et documents relatifs à l'art de l'ingénieur ; 2° de celui qui contiendra les lois, décrets ou autres documents administratifs ; 3° de l'Annuaire du Ministère des Travaux Publics.

Deux tables des matières, une pour chaque période de

cinq ans, seront également publiées par M. Dunod, pendant chaque série décennale.

Origine des Documents à insérer dans le Recueil.

Art. 2. — Les manuscrits des articles de toute nature et des tables annuelles ou quinquennales seront remis directement à l'éditeur par les soins du Secrétaire de la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées*. Il en sera de même pour les dessins annexés aux mémoires.

Il est interdit à l'éditeur d'insérer dans le recueil aucun article technique, administratif ou autre qui n'ait pas au préalable été admis par l'Administration. Les annonces qu'il pourra introduire dans les fascicules mensuels seront toujours tirées sur des feuilles à part, ne faisant pas corps avec l'ouvrage. Elles ne figureront jamais sur la couverture et ne porteront que sur des ouvrages scientifiques ou techniques.

Frais de publication.

Art. 3. — Tous les frais relatifs à la publication, en y comprenant bien entendu l'Annuaire, tels que composition en placards, correction du texte et de la couverture des cahiers, gravure et correction des planches, dessins sur bois ou sur zinc, fourniture de papier, tirage des planches et du texte, séchage, brochage, distribution, etc., en un mot tous les frais que nécessite la publication, seront à la charge de l'éditeur.

Réimpression des années épuisées.

Art. 4. — L'éditeur s'engage à faire réimprimer et à mettre en vente les années dont le tirage antérieur aurait été insuffisant ou qui viendraient à s'épuiser. Cet engagement s'applique à toutes les années indistinctement depuis 1831, époque du commencement de la publication.

Mode de publication.

Art. 5. — Les *Annales des Ponts et Chaussées* seront publiées, comme par le passé, en douze livraisons paraissant de mois en mois.

Chacune des livraisons comprendra, indépendamment des Mémoires et documents relatifs à l'Art de l'Ingénieur, un certain nombre de feuilles consacrées à la partie administrative (Lois, décrets, circulaires, décisions ministérielles, personnel, etc. . . .) et ayant une pagination distincte.

Nombre annuel des feuilles d'impression et des planches.

En y comprenant l'Annuaire, les *Annales* formeront annuellement quatre volumes in 8°, avec titres et tables, contenant *deux cent vingt feuilles d'impression et trente-six planches.*

Dimension des planches. — Gravures sur bois ou au procédé Gillot-Leffmann.

Les planches auront en moyenne une surface de *trente-cinq centimètres de long* sur *vingt-quatre de large*, dimensions prises sur le cadre renfermant les dessins. Elles pourront être remplacées par des gravures sur bois insérées dans le texte, *occupant la même surface*, ou par des gravures, dites au procédé Gillot-Leffmann, *occupant deux fois autant de surface.*

Annuaire. — Tirage à part.

Art. 6. — En dehors des abonnements réguliers qui lui seront servis et qui comprendront l'Annuaire du Ministère, l'Administration pourra demander à l'éditeur le nombre d'exemplaires supplémentaire de l'Annuaire qu'elle jugera

convenable. Mais les frais de ce tirage à part seront à la charge de l'Administration. Ils sont dès à présent fixés à *dix francs* par feuille pour le premier cent, à *cinq francs* pour chacun des autres cent, compris titres, pliage et brochage sur le papier ordinaire des Annales ; et à *vingt-cinq francs* le premier cent et *douze francs cinquante centimes* les autres cents, sur le papier jésus employé à la publication des exemplaires de luxe de l'Annuaire. Les reliures ou cartonnages seront payés à part, et d'après les prix du Tarif de l'Imprimerie Nationale diminués de dix pour cent.

Feuilles ou planches supplémentaires.

Art. 7. — Dans le cas ou l'Administration jugerait nécessaire de dépasser les nombres de feuilles ou de planches indiqués à l'article 5, l'éditeur sera tenu d'admettre toutes les feuilles ou planches dont l'impression ou la gravure lui serait demandée.

Les feuilles excédant le nombre annuel de deux cent vingt lui seront payées à raison de *cent quatre-vingt francs* l'une.

Les planches excédant le nombre annuel de *trente-six* lui seront payées à raison de *cinq cent quarante francs* l'une.

D'après ces chiffres, une planche pourra être regardée comme équivalente à trois feuilles d'impression.

Dans le cas où toutes les planches prévues n'auraient pas été demandées à l'éditeur, l'Administration se réserve de transformer les planches non employées en un nombre triple de feuilles d'impression et inversement. D'après cela, l'éditeur n'aura droit à réclamer le payement de feuilles ou de planches supplémentaires que si le chiffre total des feuilles d'impression et des planches estimées en feuilles, d'après la règle précédente, est supérieur à *trois cent vingt-huit*.

Réduction du nombre des feuilles ou des planches.

Art. 8. — Dans le cas, au contraire, où les nombres annuels de feuilles ou de planches seraient inférieurs à ceux indiqués à l'article 5, le montant des feuilles ou planches fournies en moins sera déduit des sommes dues à l'éditeur, lors du règlement annuel, et d'après les bases mentionnées à l'article 7, défalcation faite de dix francs pour cent francs (10 p. 100) et ce sans préjudice de la réduction de subvention stipulée à l'article 26.

Planches extraordinaires.

Art. 9. — Lorsque, parmi les *trente-six* planches à la charge de l'éditeur, il se trouvera, soit des planches en couleur, soit des planches de dimensions exceptionnelles donnant lieu par suite à des frais extraordinaires, il sera tenu compte à l'éditeur de l'excédent de dépense, d'après un règlement particulier fait par lui avec l'Administration sur la proposition de la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées.*

Planches à la charge des auteurs.

Art. 10. — Dans le cas où l'insertion de dessins du genre de ceux qui sont mentionnés à l'article précédent n'offrirait pas un intérêt en rapport avec les dépenses de gravure, de coloriage ou de tirage, ces dessins ne seront admis qu'autant que l'auteur aura pris, devant le Secrétaire de la Commission, l'engagement écrit de supporter l'excédent de dépenses.

La notification de cet engagement à l'éditeur dégagera complètement l'Administration de toute responsabilité pour le règlement et le recouvrement de l'excédent de dépense dont il s'agit.

Papier et caractères.

Art. 11. — Le papier à employer pour l'impression sera collé, de manière à pouvoir supporter l'écriture Le caractère et la justification seront conformes aux types adoptés antérieurement, tant pour les mémoires que pour la partie administrative, l'Annuaire et les tables quinquennales. L'éditeur devra justifier qu'il possède assez de caractères pour pouvoir composer en même temps six livraisons mensuelles, soit environ cent feuilles.

Mode de gravure des planches.

Art. 12. — Les planches seront gravées sur cuivre ou sur acier, à l'eau-forte et au burin, par des artistes agréés par l'Administration, tant pour le trait que pour la lettre.

Minimum du tirage. — Liste annuelle des abonnés.

Art. 13. — Le tirage se fera à *trois mille* exemplaires au moins. L'éditeur se soumettra aux vérifications que l'Administration jugera nécessaires pour la justification de cette clause. La liste des noms et adresses de ses abonnés sera remise chaque année à l'Administration dans le courant du mois de mars.

Tables quinquennales.

Art. 14. — L'éditeur sera tenu de faire imprimer les tables des matières de chaque période de cinq années, depuis 1881 jusqu'à l'expiration du présent marché. Ces tables seront vendues séparément comme par le passé.

Leur prix maximum sera déterminé en raison du nombre de feuilles d'impression qu'elles contiendront, chaque feuille étant évaluée au plus à *vingt centimes*.

Délai pour la publication. — Épreuves.

Art. 15. — La composition du texte de chaque fascicule mensuel devra être achevée au plus tard dans les *quinze jours* qui suivront la remise de la copie. L'éditeur fournira toutes les épreuves nécessaires aux besoins d'une bonne correction : aucune feuille ou planche ne pourra être mise sous presse sans le *bon à tirer* du Secrétaire de la Commission des *Annales*.

La remise entre les mains de l'Administration des exemplaires auxquels elle aura souscrit, aura lieu au plus tard *quinze jours* après la date du dernier *bon à tirer*.

Gravures.

L'épreuve de la gravure au trait devra être terminée *six semaines* au plus tard après la remise des dessins au graveur du trait. La gravure de la lettre sera terminée au plus tard dans les *quinze jours* qui suivront l'envoi de l'épreuve du trait au graveur de lettres.

Constatation de la remise des documents.

La date de la remise de chacune des parties précitées sera constatée par un reçu délivré soit par l'éditeur, soit par l'imprimeur ou le graveur.

Retenue éventuelle.

Il pourra être fait à l'éditeur une retenue de *vingt-cinq* francs par jour de retard, imputable sur les sommes qui pourraient lui être dues à un titre quelconque.

Exemplaires aux auteurs.

Art. 16. — M. Dunod remettra gratuitement aux auteurs, par l'entremise de l'Administration, *vingt-cinq*

exemplaires par extraits brochés, sans modification de pagination, ni titre spécial, et avec couverture non imprimée, de tout article inséré dans les *Annales des Ponts et Chaussées*.

Tirages à part.

En outre, les auteurs et l'Administration pourront faire exécuter des tirages à part qui seront payés par feuille d'impression à raison de :

Dix francs pour le premier cent d'exemplaires.

Cinq francs pour toute centaine ou fraction de centaine en sus du premier cent.

Dix francs par planche par cent exemplaires ou fraction de centaine. Le brochage, y compris couverture et faux-frais, sera payé deux francs cinquante centimes pour une feuille seule et pour le premier cent d'exemplaires, et vingt-cinq centimes en plus pour chaque cent en plus; pour chaque planche ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé vingt-cinq centimes pour chaque cent d'exemplaires. Un titre imprimé sera payé dix francs.

Droits des auteurs. — Publication et vente par des éditeurs autres que M. Dunod.

Art. 17. — Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec M. Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* et voudraient les publier séparément, pourront, avec l'autorisation de l'Administration, traiter avec tout autre éditeur. Dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auraient à faire; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons auxquelles ils auront été empruntés.

Propriété des planches et bois.

Art. 18. — Les planches, gravures sur bois ou au procédé Gillot, resteront la propriété de l'Administration. Elles seront déposées, après chaque tirage, et après prise en charge par le service intérieur du Ministère, à l'École Nationale des Ponts et Chaussées. Elles seront prêtées à l'éditeur pour la réimpression des années épuisées et pour les impressions relatives à la publication, et aux auteurs, dans le cas de publication prévu à l'article précédent.

Annales des mines. — Documents communs.

Art. 19. — L'Administration pourra prescrire l'insertion simultanée d'un même document dans les *Annales des Mines* et dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, qui ont le même caractère et la même justification. Dans ce cas, le Secrétaire de la Commission de ce dernier recueil remettra à l'éditeur les formes que ce dernier n'aura plus qu'à mettre sous presse. Il sera tenu compte à l'Administration de l'avantage qui résulte pour l'éditeur de la diminution des frais de composition. Ce dernier remboursera à l'Administration *quatre-vingt-dix francs* par feuille, s'il s'agit d'une des *deux cent vingt feuilles prévues* à l'article 5.

S'il s'agit au contraire d'une feuille supplémentaire, l'éditeur ne recevra que *cent francs.*

Frais des médailles.

Art. 20. — L'éditeur suppor[illegible] les frais de médailles à distribuer aux auteurs des meilleurs mémoires qui auront été insérés dans les *Annales* pendant la durée du présent marché, de 1881 à 1900 inclus. Le montant en demeure fixé à *douze cents francs* par an ; et l'Administration se réserve le droit de reporter d'une année à l'autre les médailles qui n'auraient pas été décernées.

Documents bibliographiques.

Art. 21. — L'éditeur remettra au Secrétaire de la Commission des *Annales* les bibliographies et catalogues de librairie français, anglais, allemands, italiens et autres, nécessaires à la préparation des bulletins bibliographiques destinés à faire connaître aux lecteurs du recueil les publications faites en France et à l'étranger, touchant les sciences pures et appliquées et l'Art de l'Ingénieur.

Mille abonnements pour l'Administration.

Art. 22. — L'éditeur devra servir chaque année à l'Administration *mille* abonnements comprenant l'*Annuaire*. Il lui livrera également *mille* exemplaires des tables quinquennales; le tout à un prix égal aux *deux tiers* du prix fort indiqué ci-après dans l'article 24 pour les *Annales* proprement dites, et ci-dessus dans l'article 14, pour les tables quinquennales.

Si l'Administration juge utile de demander un nombre d'exemplaires supérieur à celui qui vient d'être spécifié, l'éditeur devra les fournir aux mêmes conditions, c'est-à-dire avec rabais d'un tiers sur le prix fort.

Exemplaires des années précédentes.

Art. 23. — L'éditeur s'engage à livrer à l'Administration le nombre d'exemplaires qu'elle lui demandera des années publiées sous le régime du traité précédent, en consentant un rabais *d'un tiers* sur l'ancien prix fort, qui était de *vingt francs*.

Pour les autres années, à dater de 1841, il consent un rabais de *vingt pour cent* sur ce même prix fort.

Enfin les exemplaires des dix premières années, de 1831 à 1840, seront livrées au prix fort ancien sans rabais.

Vente au public.

Art. 24. — En compensation des obligations qu'elle lui impose et qui sont spécifiées dans les articles qui précèdent, l'Administration autorise l'éditeur à mettre en vente à ses risques et périls, et pour son propre compte, autant d'exemplaires qu'il lui conviendra d'en tirer.

Propriété matérielle des exemplaires existants.

Elle lui abandonne ainsi, comme précédemment, la propriété matérielle des exemplaires des *Annales des Ponts et Chaussées* qui seront imprimés jusqu'à l'expiration du présent traité.

Prix de l'abonnement.

Le prix annuel de l'abonnement, non compris les tables quinquennales, sera fixé à *vingt-cinq francs* pour Paris, et à ce prix augmenté des frais de poste pour la province et l'étranger. Toutefois, l'ancien prix de *vingt francs* (non compris frais de poste) sera maintenu pendant la durée du nouveau marché pour les Ingénieurs et Conducteurs actuellement abonnés et qui continueraient leurs abonnements.

Envoi. — Échanges.

Art. 25. — Sous le contrôle du Ministre et moyennant le simple remboursement des frais de poste, l'éditeur expédiera successivement les livraisons de ce recueil aux directeurs des publications et aux Sociétés françaises et étrangères avec lesquelles des échanges auront été régulièrement autorisés par décision ministérielle. Ces livraisons seront prélevées sur les abonnements, qui seront servis à l'Administration dans les conditions indiquées à l'article 23.

En outre, l'éditeur recevra et remettra les publications échangées au Secrétaire de la Commission, qui se chargera

d'en opérer le dépôt à la bibliothèque de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

Subvention annuelle.

Art. 26. — L'Administration accorde à M. Dunod une subvention annuelle de seize mille quatre cents francs. Cette subvention ne sera pas augmentée si le nombre des feuilles et des planches comptées comme il est dit à l'article 7 dépasse les chiffres prévus audit article. Elle sera au contraire réduite de *cinquante francs* par feuille ou de *cent cinquante francs* par planche, si le nombre de feuilles et de planches est inférieur aux chiffres prévus audit article. Toutefois, si en fin de compte, à l'expiration du marché, la somme des réductions stipulées aux articles 8 et 26 était supérieure à la somme des augmentations stipulées à l'article 7, la réduction de *cinquante francs* par feuille et de *cent cinquante francs* par planche ne serait opérée que dans la mesure nécessaire pour établir la balance de ces deux sommes ou serait même entièrement supprimée au cas où la balance ne pourrait être établie.

Des ventilations provisoires pourront être faites sur cette base, à la demande de M. Dunod, à la fin de chaque période de quatre années.

Garantie d'exécution.

Art. 27. — Pour garantir l'exécution du présent marché, M. Dunod versera à la Caisse des Dépôts et Consignations un cautionnement de dix mille francs en numéraire ou en rentes sur l'État.

Si elle a été fournie en numéraire, la somme déposée produira un intérêt, d'après le taux fixé par la Caisse des Dépôts et Consignations, sans que l'Administration ait à intervenir.

Inexécution du marché.

Art. 28. — A défaut d'exécution des clauses du présent marché, la résiliation pourra en être prononcée par Arrêté Ministériel, si l'Administration n'aime mieux en ordonner la continuation en régie aux frais de M. Dunod.

Dans ces deux cas, le cautionnement prévu à l'article 27 restera acquis à l'Administration.

Jugement des contestations.

Art. 29. — Les contestations qui pourront s'élever entre l'Administration et l'éditeur sur le sens ou l'exécution du présent traité seront jugées administrativement.

Approbation du traité.

Art. 30. — Le présent marché est évalué en vue du payement des droits d'enregistrement à une somme annuelle de soixante mille francs dont trente-trois mille francs au plus sont à la charge de l'État.

Fait double à Paris, le dix-huit septembre mil huit cent quatre-vingt.

Approuvé l'écriture ci-dessus:
Dunod.

Approuvé, le 24 septembre 1880.
Le Ministre des Travaux publics,
Sadi Carnot.

N° 69

PAROLES PRONONCÉES

PAR

M. HERVÉ-MANGON, membre de l'Institut,

SUR LA TOMBE

DE

M. NADAULT DE BUFFON

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Messieurs,

Je ne comptais pas prendre la parole dans cette triste cérémonie. Mais l'absence de l'ingénieur éminent auquel revenait le douloureux honneur de rappeler ici les services rendus à l'École de ponts et chaussées par M. Nadault de Buffon m'oblige à venir, au nom de ses anciens élèves, rendre un dernier hommage au savant laborieux et modeste, au maître dévoué dont nous déplorons la perte.

Je dois aussi adresser un suprême adieu à M. Nadault de Buffon au nom de ses confrères de la Société nationale d'agriculture de France, au nom de tous ceux qui s'occupent d'hydraulique agricole.

Benjamin Nadault de Buffon est né à Montbard (Côte-d'Or) le 2 février 1804. Il entra, en novembre 1823, à l'École polytechnique, et cinq ans plus tard, en sortant de l'École des ponts et chaussées, il fut appelé au service de l'arrondissement de Chaumont (Haute-Marne), dont il conserva la direction pendant plusieurs années.

En 1829, M. Nadault de Buffon publia la première edition d'un ouvrage intitulé : *Considérations sur les voies de*

communication intérieures, dont une seconde édition parut en 1836. Son grand et important *Traité des usines sur les cours d'eau*, qui maintenant encore fait autorité en ces matières difficiles, fut publié pendant les années 1840 et 1841.

Le succès considérable et si bien mérité de ces deux ouvrages attira l'attention du ministre sur le jeune ingénieur. M. Nadault de Buffon fut nommé chef de la division des usines et desséchements le 16 août 1842. Beaucoup de personnes se rappellent encore la bienveillance et l'esprit de conciliation que M. Nadault de Buffon apportait dans l'exercice de ces fonctions délicates. Il ne tarda pas à obtenir le grade d'ingénieur en chef de seconde classe (1er mai 1843). Il fut élevé à la 1re classe le 8 avril 1851, et reçut, le 16 août 1862, la croix d'officier de la Légion d'honneur.

Il faisait partie, depuis 1849, de la Société nationale d'agriculture de France, dont il était un des plus anciens titulaires. Tous ses confrères savent combien était grande son autorité dans les questions qui faisaient l'objet habituel de ses études.

L'auteur du *Traité des usines sur les cours d'eau* ne pouvait pas s'occuper, comme chef de division, de travaux d'intérêt agricole sans deviner l'importance, alors si peu connue, des irrigations pour la richesse de la France. M. Nadault de Buffon visita l'Italie et publia, en 1843 et 1844, son grand ouvrage en trois volumes et un atlas sur *Les Canaux d'arrosage de l'Italie septentrionale.* Cette première édition était épuisée depuis bien longtemps, lorsque la deuxième édition fut imprimée en 1861.

Cet important ouvrage fut en quelque sorte une révélation pour les ingénieurs et même pour beaucoup d'agronomes. Il fit connaître, de la manière la plus honorable, le nom de son auteur aux hommes instruits de l'Europe entière. A dater de cette époque, la vocation de M. Nadault de Buffon était invariablement fixée : jusqu'à la fin de sa

vie il n'a pas cessé de concourir, par sa parole et par ses écrits, aux progrès de l'art de l'irrigation.

En 1842, M. Nadault de Buffon inaugura à l'École des ponts et chaussées, sous le titre de *Conférences*, l'enseignement de l'irrigation. En 1851, il fut nommé professeur d'hydraulique agricole et publia son *Cours d'agriculture et d'hydraulique agricole*, en quatre volumes (1853-1856).

Cette aride énumération des travaux et de quelques-uns des principaux ouvrages de M. Nadault de Buffon ne ferait pas connaître l'œuvre considérable de l'homme que nous pleurons, si je n'ajoutais quelques mots encore.

Ce n'est assurément point ici le lieu d'analyser et de louer en détail chacune des œuvres de M. Nadault de Buffon. Mais on ne peut s'empêcher de remarquer que toutes ses publications, depuis ses grands ouvrages jusqu'à ses moindres notes sur les eaux de Thiais, présentent un caractère spécial qui les distingue de celles de ses devanciers. Chaque écrit de M. Nadault de Buffon est à la fois technique et administratif; il intéresse également le savant, l'ingénieur, l'administrateur, le jurisconsulte et l'homme du monde, pourvu qu'il soit instruit et doué d'un esprit réfléchi.

L'enseignement de M. Nadault de Buffon présentait le même caractère, et l'on peut dire, ce qui est le plus grand éloge d'un professeur ou d'un écrivain, que sa méthode a véritablement fait école.

J'ai suivi la première année des cours de M. Nadault de Buffon, et en me reportant à cette époque éloignée, je reste convaincu que ces leçons, et la lecture des ouvrages de M. Gasparin, ont eu la plus grande influence sur le choix de la carrière que j'ai suivie. J'ai dû aux encouragements et à la bienveillance de M. Nadault de Buffon de devenir son adjoint à l'École des ponts et chaussées; je conserverai toujours pour la mémoire de mon ancien maître le plus profond respect et la plus vive reconnaissance.

En 1867, M. Nadault de Buffon dut renoncer, par limite

d'âge, à ses fonctions actives; mais, bien loin de prendre un repos légitimement acquis, il se livra avec plus d'ardeur que jamais à ses études sur les irrigations. Il a publié depuis cette époque un grand nombre de mémoires qu'il serait trop long de citer, et un travail important sur les colmatages.

Appelé, par décret du président de la République en date du 5 septembre 1878, à faire partie de la commission supérieure pour l'aménagement de l'utilisation des eaux, M. Nadault de Buffon apporta dans ses nouvelles fonctions, malgré son âge avancé, une ardeur au travail et une érudition dont aucun des membres de cette commission n'a perdu le souvenir (*).

Entièrement absorbé par ses études et son travail incessant, M. Nadault de Buffon était peu soucieux de ses intérêts personnels. Ses amis, au milieu des petites préoccupations de la vie de chaque jour, regrettaient quelquefois cet oubli des soins à donner à sa fortune. Mais, en présence de ce grand spectacle de la mort, cet oubli des petites choses nous apparaît aujourd'hui comme un témoignage magnifique de cet amour du travail, de ce dévouement sans bornes aux progrès agricoles qui ont fait la force de M. Nadault de Buffon et qui ont rempli sa vie tout entière.

Entouré de livres qu'il ne cessait d'annoter, M. Nadault de Buffon travaillait encore avec nous, il y a moins de douze jours, dans une des salles de la Société nationale et centrale d'agriculture. Sa forte constitution n'a cédé qu'à l'étreinte suprême de la mort et lui a laissé ce rare bonheur

(*) On nous permettra de mentionner le projet de colmatage de la Crau et de desséchement des marais de Foz, beau projet dont l'exécution a été poursuivie par M. Nadault de Buffon, pendant les dernières années de sa vie, avec une persévérance que rien n'a découragé, et que le succès était sur le point de couronner.

(*Note du secrétariat.*)

de travailler et d'apprendre sans cesse jusqu'à son dernier jour.

La vie de M. Nadault de Buffon, si bien remplie par le travail, si désintéressée, si dévouée et si utile aux progrès des travaux publics agricoles, restera pour tous un exemple précieux, un souvenir sacré dans notre mémoire et dans notre cœur.

N° 70

NOTE

SUR

LA CONSTRUCTION DES PONTS SULLY

Par M. BROSSELIN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Nous nous proposons de donner ici les renseignements que nous avons réunis sur les ponts Sully, dont nous avons rédigé le projet et dirigé la construction en qualité d'ingénieur ordinaire sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Vaudrey (*).

Nous insisterons principalement sur la partie métallique, sur les détails d'exécution et nous diviserons cette note en dix parties :

I. — Renseignements généraux.
II. — Ouvrages en maçonnerie.
III. — Partie métallique.
IV. — Calculs de stabilité.
V. — Dessins, commandes, fabrication et ajustage des fontes.
VI. — Montage des ponts.
VII. — Effets produits par la charge permanente et les variations de température.
VIII. — Épreuves.
IX. — Poids de la partie métallique. — Dépenses et prix de revient.
X. — Conclusions.

(*) Nous avons été très bien secondé : pour la rédaction du projet, par M. le conducteur Debidas, et pour la surveillance des travaux par MM. les conducteurs Papillon et Vergeot.

M. Papillon, aujourd'hui conducteur principal, était placé à la tête du chantier, et M. Vergeot a été chargé de la surveillance de la fabrication des usines.

I. — Renseignements généraux.

Les ponts Sully (Pl. 36) sont établis dans l'axe du boulevard Henri IV, qu'ils relient au boulevard Saint-Germain. Ils s'appuient sur la tête amont de l'île Saint-Louis, et franchissent les deux bras de la Seine sous des angles différents dirigés en sens inverse.

Ils ont entre parapets, d'axe en axe, normalement aux têtes, une largeur de 20 mètres, qui comprend une chaussée pavée de 12 mètres et deux trottoirs de 4 mètres.

La chaussée de chacun d'eux affecte la forme d'un dos d'âne et présente une pente longitudinale de $0^m,015$ par mètre de part et d'autre de la clef.

Le pont du grand bras est biais à 51° 9′ 45″. Il comprend 3 arches métalliques en fonte, d'ouvertures et de flèches différentes, dont les dimensions ont été fixées de manière à déterminer des poussées égales sur les piles sous l'action de la charge permanente.

Le pont du petit bras est biais à 66° 26′ 0″. Il comprend une arche centrale métallique en fonte qui repose sur des piles-culées, et deux arches latérales en maçonnerie, en plein cintre, à section de tête circulaire de $15^m,35$ de diamètre.

L'étiage conventionnel de la Seine est à l'altitude (26,32) par rapport au niveau moyen de la mer à Marseille.

La hauteur réservée pour la navigation, sous l'arche centrale, au-dessus de l'étiage conventionnel, est de :

— $9^m,25$ sur le grand bras,
— 9 ,05 sur le petit bras.

Les dimensions principales des arches métalliques sont indiquées au tableau ci-après :

DÉSIGNATION des arches.	INTRADOS		DISTANCE entre le nu des piles et culées, suivant le biais au-dessus des sommiers	SURFACE du tablier.
	ouverture suivant le biais.	flèche.		
Pont du grand bras.	mètres	mètres	mètres	mèt. carrés
Arche centrale	49,564	5,659	51,121	1.022,48
Arches latérales	46,354	4,881	47.914	958,28
Pont du petit bras.				
Arche unique.	42,276	5,447	43,612	872,24

L'exécution des travaux a fait l'objet de deux entreprises distinctes, l'une pour les ouvrages en maçonnerie et l'autre pour la partie métallique.

Le projet des ouvrages en maçonnerie (*) a été approuvé par décision ministérielle du 4 août 1873, et adjugé le 14 février 1874 à M. J. Cousté, moyennant un rabais de 15 p. 100.

Le projet de la partie métallique a été approuvé par décision ministérielle du 8 juillet 1874, et adjugé le 18 du même mois à MM. H. Joret et Ce moyennant un rabais de 11 p. 100.

Les deux ponts ont été livrés à la circulation le 5 mars 1876, après avoir subi les épreuves par poids mort.

Les épreuves par poids roulant, qui avaient été retardées par une crue de la Seine, ont été faites le 14 avril suivant.

II. — Ouvrages en maçonnerie.

Dispositions générales.—Les piles et les culées de chaque pont, ainsi que les corniches et les parapets qui les surmontent, sont dessinées suivant le biais.

Les culées ont été traitées comme des piles et elles com-

(*) Ce projet comprenait, en outre, les raccordements aux abords des deux ponts et le rescindement du bas-port Saint-Bernard.

portent des avant et arrière-becs sur lesquels reposent des pans coupés de petites dimensions qui dégagent les abords des deux ponts.

Cette disposition avait un double but : faciliter les raccordements avec les quais adjacents, et placer les arches en maçonnerie du pont du petit bras entre deux motifs d'architecture semblables. On a pu ainsi donner aux deux ponts le même caractère.

Les arches en maçonnerie sont extradossées parallèlement; elles ont $0^m,80$ d'épaisseur et sont appareillées suivant le système héliçoïdal.

Les socles des piles et des culées sont implantés à l'altitude (25,60), soit à 0^m72 en contrebas de l'étiage conventionnel.

Fondations. — Le terrain diluvien, qui recouvre l'étage du calcaire grossier, est formé de sables fins un peu vaseux, de graviers et de gros sables ; on rencontre ensuite les marnes chloritées et le calcaire grossier apparaît à 5 mètres environ en contrebas de l'étiage conventionnel.

Les fondations du pont du grand bras ont été exécutées comme suit :

La culée gauche, protégée par le mur de quai du bas-port Saint-Bernard, est fondée à l'altitude (26,40) sur un banc de sable franc.

Les piles en rivière ont été descendues jusqu'au calcaire, aux altitudes respectives de (21,25) et de (21,58). Elles reposent sur des massifs de béton coulés sous l'eau dans des caissons sans fond.

La culée droite a été fondée sur pilotis, et la tête des pieux (*) est noyée dans un massif de maçonnerie exécuté à sec à l'abri d'un batardeau.

(*) Ces pieux sont dérasés à l'altitude 25,60. Ils ont $4^m,50$ à 5 mètres de longueur et ont été battus au refus de $0^m,02$ par volée de dix coups d'un mouton de 700 kilog. tombant d'une hauteur de 3 mètres.

Les fondations du pont du petit bras ont été faites en maçonnerie, à sec, à l'abri de batardeaux et elles reposent sur le sable franc ou le gravier.

La pile et la culée gauches ont été fondées aux altitudes respectives de ($21^m,77$) et de ($22^m,81$). Les difficultés que présentait l'épuisement des eaux de la nappe souterraine, affluant dans l'enceinte par infiltrations à travers le gros gravier qui recouvre le calcaire, n'ont pas permis de descendre plus bas.

La pile droite, établie un peu en arrière du mur de quai du bas-port Henri IV, n'a été fondée qu'à l'altitude (22,95), comme ce mur dont le pied est défendu par une ligne de pieux et palplanches.

La culée droite, entièrement protégée, repose sur le sable à l'altitude (24,60).

Matériaux. — Les matériaux employés sont :

— La pierre de taille de Souppes pour les têtes et les soubassements des piles et culées, les sommiers, bandeaux, corniches et parapets, et les voussoirs de tête des arches biaises ;

— Le moellon taillé de Souppes pour les parements latéraux des piles et culées au-dessus des sommiers, les raccordements avec les quais adjacents et les tympans des arches biaises ;

— La meulière smillée de la haute Seine de petit échantillon pour la douelle des arches biaises ;

— La meulière brute de la haute Seine pour les maçonneries de remplissage ;

— Le caillou roulé et le sable de Seine pour le béton et les mortiers ;

— La chaux hydraulique artificielle de Bougival, de la fabrique de M. Pointelet ;

— Le ciment de Portland de l'usine Demarle et Ce, à Boulogne-sur-Mer.

Le mortier de chaux hydraulique a été composé de 250 kil. de chaux (*) par mètre cube de sable.

Le mortier de ciment de Portland a été dosé à raison de 350 kilog. de ciment par mètre cube de sable pour les maçonneries, et de 600 kilog. de ciment par mètre cube de sable pour les rejointoiements.

Le béton de fondation des piles du pont du grand bras, exécuté en mortier de chaux hydraulique, est composé de $0^{mc},75$ de cailloux et de $0^{mc},50$ de mortier.

Les massifs de fondation des piles et culées du pont du petit bras sont exécutés en mortier de chaux hydraulique.

Les piles et les culées du pont du grand bras sont hourdées en mortier de ciment depuis le socle jusqu'au niveau du dessus des sommiers, et en mortier de chaux hydraulique au-dessus de ce niveau.

Sur le petit bras, on a exécuté : en mortier de ciment, les piles jusqu'au niveau du dessus des sommiers et les arches biaises ; en mortier de chaux hydraulique, la partie supérieure des piles et les culées des arches biaises.

On a placé dans les massifs des culées un certain nombre de pierres de taille de démolition, posées debout et disposées en quinconce à des hauteurs différentes pour résister aux efforts de glissement.

Exécution des travaux. — Les seuls points à signaler sont les suivants.

L'entrepreneur avait disposé, pour l'immersion du caisson de la pile droite du pont du grand bras, un échafaudage supérieur reposant sur deux bateaux accouplés, auquel le caisson était suspendu. Cet échafaudage, trop faible, a cédé au moment de l'échouage et le caisson a été précipité au fond. On a dû le relever pour le visiter et le placer

---

(*) Le poids du mètre cube de chaux ne dépasse pas 620 kilog.

dans sa véritable position. Il n'avait heureusement éprouvé aucune avarie dans sa chute.

Le béton de fondation des piles du pont du grand bras a été coulé par couches successives au moyen d'une caisse demi-cylindrique, s'ouvrant par le fond, qui cubait $1^{mc},35$. On avait eu pour but de diminuer les délavages en employant une caisse de grandes dimensions. Mais cette caisse a présenté, en fait, des inconvénients. Elle ne pouvait pas être approchée assez près des parois inclinées et des moises transversales du caisson, et on a dû dresser à la main, en le poussant avec des dames, le béton dont la surface était irrégulière. Nous pensons que pour un travail de ce genre on ne doit pas se servir de caisses cubant plus de $0^{mc},75$ à 1 mètre au maximum.

La pose du socle de la pile rive droite du pont du grand bras a exigé des épuisements assez importants, et présenté par suite de réelles difficultés. On doit attribuer ces difficultés à deux causes : le béton était trop maigre, et on avait commencé les épuisements trop tôt (10 jours après l'achèvement du béton). Les mêmes difficultés ne se sont pas reproduites, en effet, pour la pile rive gauche, où on a pris la précaution de faire la couche supérieure en béton plus gras — mélange par parties égales de cailloux et de mortier — et d'attendre 20 jours avant d'épuiser.

La fondation de la culée gauche du pont du petit bras a dû être descendue plus bas que ne le prévoyait le projet, dressé d'après des sondages inexacts, et elle a exigé le creusement d'une fouille profonde à l'aplomb du parement du quai de Béthune. Ce quai, fondé à $0^{m},30$ au-dessus de l'étiage sur pilotis de 3 mètres environ de hauteur, a tassé subitement et s'est avancé en rivière dès que les pieux ont été déchaussés. On a arrêté, en 48 heures, ce mouvement inquiétant, en démolissant la partie supérieure du mur sur $1^{m},50$ environ de hauteur, et en en consolidant le pied au moyen d'étrésillonnements placés dans la fouille.

III. — Partie métallique.

Dispositions générales. — Chaque arche métallique est composée de 11 fermes droites en fonte, espacées de 2 mèt. d'axe en axe.

Les fermes de tête présentent dans leur ensemble une surface plane, évidée, relevée par des moulures et renforcée par des nervures intérieures; elles sont couronnées par des corniches droites en fonte à modillons et des parapets évidés en fonte également droits.

Les fermes intermédiaires sont symétriques et traitées plus simplement.

Tous les arcs ont 0^{m},60 de hauteur à la clef et 0^{m},90 aux naissances. La hauteur à la clef était commandée par les circonstances locales : elle est faible, et les ponts Sully présentent sous ce rapport une certaine hardiesse. La section des arcs affecte la forme d'un double T et l'épaisseur de l'âme varie de 30 à 52 millimètres.

Les tympans sont évidés et divisés en panneaux. Ils présentent une série de montants verticaux également espacés, dont la distance d'axe en axe est de 1^{m},610 au pont du grand bras et de 1^{m},745 au pont du petit bras. L'épaisseur de la fonte varie de 17 à 21 millimètres.

L'entretoisement supérieur des arcs et des tympans est formé par les poutrelles en fer double T du tablier qui supportent les voûtes sur lesquelles reposent la chaussée et les trottoirs.

Ces poutrelles correspondent aux montants des tympans.

Au pont du grand bras, l'espacement de ces montants a été réglé, d'après le biais, de telle façon qu'ils se présentent en plan suivant des rangs parallèles dirigés normalement aux têtes. Les poutrelles du tablier sont par suite normales aux têtes et les voûtes sont droites.

La même disposition n'a pas été adoptée pour le pont

du petit bras où les poutrelles sont dirigées suivant le biais, et où les voûtes sont biaises.

L'entretoisement des tympans est formé dans les deux ponts par trois cours de croix de Saint-André constitués avec des fers en U et dirigés suivant le biais.

L'entretoisement des arcs est formé par des fers en U accouplés de manière à présenter la forme d'un double T. Ces fers sont dirigés les uns horizontalement suivant le biais et les autres obliquement. Ils prennent leurs points d'attache sur le milieu des arcs et forment avec eux des triangles rigides.

Les deux ponts présentent d'ailleurs les mêmes dispositions et les dessins ci-joints (Pl. 37 et 38), relatifs à l'arche centrale du pont du grand bras, donnent tous les détails intéressants.

Arcs. — Tous les joints des voussoirs sont rabotés et assemblés au moyen de boulons dont le diamètre varie de 40 à 45 millimètres.

Le projet prévoyait, pour chaque arche, des voussoirs inégaux dont les joints correspondaient aux montants des tympans.

On a renoncé en exécution à cette disposition, et on a divisé les arcs en voussoirs égaux, c'est-à-dire ayant même longueur à l'intrados.

On a évité ainsi l'obligation de faire varier, pour chaque voussoir, l'angle de la machine à raboter et on a eu des garanties beaucoup plus grandes d'exactitude.

Coussinets de retombée. — Les coussinets de retombée reposent sur les sommiers en pierre de taille par l'intermédiaire d'une plaque de plomb de $0^m,003$ d'épaisseur, et ils sont scellés sur ces sommiers au moyen de boulons de 45 millimètres de diamètre.

Il est essentiel que la face postérieure de ces coussinets

soit parfaitement dressée, et le mieux est d'en prescrire le rabotage.

Calage des arcs. — Le jeu réservé pour le calage entre les arcs et les coussinets de retombée a été fixé à 40 millim.

Les cales en acier, au nombre de 4, ont 68 millimètres de largeur, et sont engagées dans des rainures rabotées de 70 millim. de largeur ménagées *ad hoc* dans le coussinet.

Ces rainures présentent un fruit de $0^m,022$ par mètre et une profondeur moyenne de $6^{mm},5$.

Tympans. — Les tympans sont indépendants des coussinets, et ils reposent sur les arcs par l'intermédiaire de cales en fer. On a réservé un jeu de 15 millimètres pour parer aux irrégularités de fabrication et d'ajustage, et ce jeu a été rempli avec du mastic à la limaille de fonte.

Les joints verticaux des panneaux, qui avaient une grande hauteur, n'ont pas été rabotés dans toute leur étendue. On s'est borné à réserver de distance en distance des portées rabotées et les vides ont été remplis avec du mastic à la limaille de fonte.

Ces portées doivent avoir toute la largeur du joint, et une hauteur suffisante pour parer aux irrégularités de retrait et d'assemblage.

L'assemblage des panneaux entre eux et avec les arcs est fait au moyen de boulons de 25 millim. de diamètre.

Entretoisement. — Les fers en ⊔, qui constituent les croix de Saint-André formant l'entretoisement des tympans, sont assemblés au moyen de goussets coudés sur des plaques de tôle qui traversent les joints des montants et sont fixées sur ces montants au moyen de boulons et de cales.

Les fers en ⊔, qui forment l'entretoisement des arcs, sont assemblés au moyen de goussets et de cornières sur des plaques de tôle boulonnées sur les arcs.

Il est toujours difficile d'assembler convenablement des pièces en fer sur des pièces en fonte, et cette difficulté n'a pas été résolue d'une manière très satisfaisante aux ponts Sully, où elle était du reste notablement aggravée par le biais. Les efforts que les pièces d'entretoisement ont à supporter doivent tendre, en effet, à déformer les angles des tôles qui rachètent les différences d'alignements.

Poutrelles du tablier. — Les poutrelles du tablier reposent sur des corbeaux venus de fonte avec les arcs et les tympans; elles sont serrées contre ces corbeaux au moyen de cales qui s'appuient sur une nervure supérieure venue également de fonte et fixées latéralement par des cornières.

Les poutrelles des travées de rive ont dû être relevées pour dégager les fermes de tête et elles ont exigé des assemblages spéciaux.

Corniches. — Les corniches sont complètement indépendantes du tablier et des fermes de tête.

Elles reposent, par l'intermédiaire de cales en fer, sur les arcs et les tympans avec lesquels elles sont fixées par des boulons de 25 millimètres de diamètre, et le jeu réservé de 14 millimètres d'épaisseur a été rempli avec du mastic à la limaille de fonte.

Les joints sont rabotés et assemblés au moyen de boulons de 20 millimètres de diamètre.

Le profil des corniches a d'ailleurs été dessiné de manière à faire sur le tympan une certaine saillie qui dissimule les incorrections du montage.

Parapets. — Le parapet est formé de pilastres et de panneaux.

Les pilastres sont fixés, au moyen de cales, dans des boîtes venues de fonte avec la corniche et les panneaux sont assemblés avec les pilastres.

Dispositions particulières près des piles et culées. — L'ossature métallique est complètement indépendante des maçonneries, et un jeu a été ménagé près des piles et culées pour la dilatation.

Les abouts des longerons des tympans sont maintenus par des guides en fer scellés dans la maçonnerie et reliés par des poutrelles dirigées suivant le biais sur lesquelles on a boulonné la tôle bavette qui recouvre le jeu réservé.

Ces poutrelles biaises sont d'ailleurs rattachées aux dernières poutrelles droites par des poutrelles longitudinales établies au milieu de chaque travée, et la direction des voûtes du tablier a été renversée dans ces derniers compartiments.

Voûtes du tablier. — Les voûtes du tablier sont faites en briques de Bourgogne. Elles ont $1^{m},492$ d'ouverture, $0^{m},247$ de flèche et $0^{m},11$ d'épaisseur. Elles sont hourdées en mortier de ciment de Portland au dosage de 450 kilog. de ciment par mètre cube de sable et reposent sur des sommiers *ad hoc* qui épousent la forme des poutrelles.

Les reins des voûtes ont été remplis en béton ; la chape, en bitume de 10 millimètres d'épaisseur, présente une surface ondulée et l'écoulement des eaux est assuré par de petits tuyaux en poterie placés dans les voûtes.

IV. — Calculs de stabilité.

Arcs. — Les arcs ont été calculés au moyen des formules données par M. Bresse dans ses recherches analytiques sur la flexion et la résistance des pièces courbes.

Ces formules supposent que les arcs ont une section constante.

Afin de se rapprocher autant que possible des conditions théoriques, on a pris pour point de départ non l'arc d'intrados, mais l'arc moyen qui passe par le milieu des joints

à la clef et aux naissances, et on a admis pour les arcs une section constante égale à celle de la clef.

La section adoptée était celle d'un double T ayant $0^m,60$ de hauteur totale et $0^m,30$ de largeur d'aile. L'âme et les ailes ont été supposées avoir même épaisseur et cette épaisseur a été fixée à :

— $0^m,055$ pour l'arche centrale. . } du pont du grand bras,
— 0 ,050 pour les arches latérales }
— 0 ,040 pour le pont du petit bras.

La charge permanente a été calculée à raison de 1.600 kilog. par mètre carré de tablier pour le pont du grand bras, de 1.550 kilog. pour le pont du petit bras, et supposée uniformément répartie suivant l'horizontale (*). On s'est ainsi placé dans des conditions défavorables, sans commettre d'ailleurs d'erreur sensible, car on sait que le même poids total supposé uniformément réparti suivant l'horizontale donne une poussée un peu plus forte que s'il était uniformément réparti suivant la fibre moyenne.

La charge d'épreuve par poids mort a été fixée à 400 kilog. par mètre carré de tablier, et supposée appliquée à la totalité de chaque arche.

Les résultats obtenus sont consignés au tableau ci-après qui donne la poussée à la clef et les pressions maxima supportées par les arcs sous la charge permanente et pendant l'épreuve par poids mort.

(*) Le poids du tablier (voûtes et chaussées) entre dans ces chiffres pour 1.000 kilog. Le surplus représente le poids de l'ossature métallique, qui augmente avec l'ouverture des arches et avait été évalué largement.

	PONT DU GRAND BRAS		PONT du petit bras.
	arche centrale.	arches latérales.	
Charge permanente.	kilog.	kilog.	kilog.
Poussée	179.850,000	181.000,000	130.000,000
Pression maxima par millimètre carré — à la clef	4,042	3,942	3,871
Pression maxima par millimètre carré — aux reins	3,965	3,896	4,099
Épreuve par poids mort.			
Poussée	224.820,000	226.260,000	163.650,000
Pression maxima par millimètre carré — à la clef	5,040	4,927	4,869
Pression maxima par millimètre carré — aux reins	4,945	4,871	5,156

On se contente souvent de calculer la poussée à la clef par la formule approximative ci-après :

$$Q = p \frac{A^2}{2F},$$

dans laquelle p représente le poids par mètre courant, A l'ouverture, F la flèche de l'intrados, et d'en déduire la pression moyenne à la clef.

L'application de cette formule donne les résultats suivants :

	PONT DU GRAND BRAS		PONT du petit bras.
	arche centrale.	arches latérales.	
Charge permanente.	kilog.	kilog.	kilog.
Poussée	175.456,000	175.168,000	126.730,000
Pression moyenne à la clef	2,927	3,185	2,828
Épreuve par poids mort.			
Poussée	219.320,000	218.960,000	159.440,000
Pression moyenne à la clef	3,658	3,981	3,559

On voit que les pressions moyennes ainsi évaluées sont notablement inférieures aux efforts maxima que les formules de M. Bresse mettent en évidence.

Le métal a été distribué d'une manière plus judicieuse que ne le comportent les profils adoptés pour le calcul des

arcs. On a légèrement renforcé les ailes, dont la largeur a été portée à $0^{m},32$, et on a adopté des épaisseurs décroissantes en allant de la clef vers les naissances pour tenir compte de l'augmentation de hauteur des arcs, en conservant partout la même section totale. Enfin les arcs de tête, qui sont moins chargés et dont le profil est différent, ont été faits plus légers que les arcs sous chaussée.

On peut dire, en résumé, que les pressions maxima ne dépassent pas 4 kilog. sous la charge permanente, et 5 kilog. sous la charge d'épreuve par poids mort, abstraction faite des efforts déterminés par les variations de température.

On s'est rendu compte, au moyen des formules de M. Bresse, des poussées déterminées par la charge roulante d'épreuve (voitures à 4 roues de 16 tonnes ou à 2 roues de 11 tonnes aussi nombreuses que possible), et on a constaté que ces poussées étaient inférieures à celles que produit l'épreuve par poids mort. Mais on n'a pas calculé les efforts que les arcs auraient à supporter sous l'action de cette charge roulante.

Sommiers. — La pression sur les sommiers a été calculée au moyen de la formule

$$R = \frac{P}{2} \sin \varphi + Q \cos \varphi,$$

dans laquelle P représente le poids de l'arche, Q la poussée, φ le demi-angle au centre, et on a obtenu les résultats consignés au tableau suivant :

	PONT DU GRAND BRAS		PONT du petit bras.
	arche centrale.	arches latérales.	
Charge permanente.	kilog.	kilog.	kilog.
Pression. . . . totale	196.954,00	195.740,00	145.853,00
Pression. . . . par centimètre carré. .	24,62	24.47	18,23
Épreuve par poids mort.			
Pression. . . . totale	246.190,00	244.625,00	183.495,00
Pression. . . . par centimètre carré. .	30,77	30,88	22,93

Piles et culées. — La stabilité des piles et culées a été déterminée par la méthode ordinaire de M. Méry.

Les chiffres de détail seraient sans intérêt, et il suffira de faire connaître :

En ce qui concerne la charge permanente :

— que les pressions moyennes par centimètre carré ne dépassent nulle part :

2^k,10 sur le sol,
2 ,40 sur le dessus du massif de fondation,
2 ,55 sur le dessus des socles;

— que la pression totale est uniformément répartie sur les piles du pont du grand bras ;

— que la pression totale est inégalement répartie sur les piles-culées du pont du petit bras et les culées des deux ponts, et que les pressions maxima près des arêtes peuvent y atteindre le double des chiffres ci-dessus ;

— enfin que les pieux de la culée droite du pont du grand bras ne portent pas plus de 22 tonnes en moyenne;

En ce qui concerne les charges d'épreuve :

— que les piles du pont du grand bras sont inégalement chargées dans le cas où l'une des arches adjacentes est seule chargée ;

— que l'effet de la charge d'épreuve est d'augmenter de 0^k,60 environ par centimètre carré les pressions moyennes et maxima supportées par les maçonneries et de 2^t,5 la charge des pieux de la culée droite du pont du grand bras.

V. — Dessins, commandes, fabrication et ajustage des fontes.

Indications générales. — Une étude, même sommaire, de la fabrication de la fonte exigerait des développements que le cadre de cette note ne comporte pas, et on laissera de côté tout ce qui est spécial à l'art du fondeur pour ne signaler que les points sur lesquels la surveillance de l'ingénieur peut et doit s'exercer.

Pour exécuter une pièce en fonte, on commence d'abord par faire le modèle de cette pièce, puis on exécute avec ce modèle un moule dans lequel on coule la fonte.

Les modèles se font généralement en bois et quelquefois en métal.

Les moules sont exécutés en sables spéciaux, avec des précautions toutes particulières, dans des châssis en fonte en général, et ils sont formés de plusieurs parties préparées isolément et assemblées entre elles, dont le nombre et les dispositions varient avec la forme et les sujétions des pièces. On appelle noyaux les pièces rapportées pour réserver les vides intérieurs.

On distingue trois espèces principales de moulage : en sable vert, séché ou flambé et étuvé.

Le moule en sable vert est celui qui est employé tel quel, sans aucun séchage préalable.

Le moule en sable flambé ou séché est celui dont les surfaces seules ont été légèrement séchées avant emploi.

Enfin le moule en sable étuvé est celui qui a été parfaitement et complètement séché dans une étuve.

La fonte employée peut être soit la fonte de 1re fusion que donne le traitement direct du minerai de fer dans le haut fourneau, soit la fonte de 2e fusion que l'on obtient en refondant la fonte de 1re fusion au cubilot, soit un mélange de fontes de 1re et 2e fusion.

On a en seconde fusion des fontes d'une qualité égale et

régulière ; mais il n'en est pas de même en première fusion, car l'allure d'un haut fourneau est difficile à régler, et il donne souvent, du jour au lendemain, des fontes de qualités très différentes.

La fonte grise est la seule qui se prête bien au moulage. Elle est douce, se travaille facilement au burin et à la lime et présente à la cassure un grain fin, serré et homogène. Sa densité ne dépasse pas $7^k,20$.

Dessins d'exécution.—La préparation des dessins d'exécution présente une certaine difficulté.

Il faut, en effet, être familier avec l'art du fondeur pour pouvoir arrêter convenablement toutes les dimensions d'une pièce de fonte, et les seules indications générales que l'on puisse fournir à ce sujet sont les suivantes : — donner un léger fruit appelé dépouille aux parties à engager dans le moule afin de permettre de retirer le modèle ; — régler les épaisseurs de façon que la fonte puisse arriver à bonne température dans toutes les parties du moule avec une distribution convenable des jets et des évents ; — enfin répartir le métal aussi également que possible, relier les parties saillantes aux âmes par des congés et des nervures et disposer le tout de manière à éviter les cassures que peuvent déterminer, au refroidissement, le retrait de la fonte et la compression du moule qui en est la conséquence.

Nous avons imposé à l'entrepreneur, par son marché, l'obligation de préparer, sous notre direction, tous les dessins d'exécution d'après les pièces du projet.

MM. H. Joret et Cᵉ ont exécuté ce travail à notre complète satisfaction.

Le projet supposait que les corniches en pierre des piles et culées et les corniches en fonte des arches métalliques présenteraient, comme la chaussée, une pente régulière de $0^m,015$ par mètre.

On a admis que ce résultat devait être réalisé pour la

température moyenne de 10°, et on a augmenté la flèche correspondante indiquée au § 1er pour tenir compte des tassements sous la charge permanente.

Le surhaussement a été fixé à :

$0^m,071$	pour l'arche	centrale du grand bras,	
0 ,060	id.	latérale	id.
0 ,053	id.	unique du petit bras,	

et c'est d'après ces données que les dessins d'exécution ont été dressés.

Poids théoriques. —Tolérance.— On s'est prémuni contre les augmentations de poids et de dépense, qui constituent des mécomptes trop fréquents, en imposant à l'entrepreneur, par son marché, l'obligation de joindre aux dessins d'exécution minutieusement cotés des métrés détaillés, donnant le volume et le poids théorique de chaque pièce évalué avec la densité $7^k,20$, et en spécifiant les tolérances accordées.

Toute pièce dont le poids individuel était inférieur de plus de 5 p. 100 au poids théorique devait être rebutée.

Toute pièce dont le poids individuel était supérieur de plus de 5 p. 100 au poids théorique pouvait être rejetée.

Enfin, il était accordé pour l'ensemble de la fourniture une tolérance de 3 p. 100 en sus du poids total théorique.

Marques venues de fonte. — Toutes les pièces entrant dans la composition des ponts ont été repérées suivant un système de notation méthodique combiné de manière à donner la même marque aux pièces identiques, afin de faciliter le classement par lots et le travail des usines.

Ces marques étaient indiquées sur les dessins, et on les a fait venir de fonte.

Ce premier repérage a d'ailleurs été complété ultérieurement par de nouvelles marques à la peinture, arrêtées

en vue du montage, quand l'ajustage a été terminé et que chaque pièce a eu pris dans le pont sa place définitive.

Commandes. — Les commandes ont fait l'objet d'ordres de service indiquant, après vérification des dessins et des métrés, le nombre des pièces semblables à faire, les poids théoriques, les marques à faire venir de fonte, et, grâce à ces précautions auxquelles on a tenu la main, on a pu se renfermer dans les prévisions du projet.

Usines. — MM. H. Joret et Ce ont traité, pour la fabrication des fontes, avec la compagnie de Terre-Noire, Lavoulte et Bessèges.

Cette compagnie a fait faire par l'usine de Lavoulte (Ardèche), les fermes sous chaussée des deux ponts et les fermes sous trottoir du petit bras, et par l'usine de Tamaris (Gard) les fermes de tête, les corniches et les parapets des deux ponts, et les fermes sous trottoir du grand bras.

L'usine de Tamaris a eu ainsi à exécuter toutes les pièces apparentes et d'ornement qui présentaient les plus grandes sujétions. Sa fabrication a été très satisfaisante.

Celle de l'usine de Lavoulte, qui était inexpérimentée pour un travail de ce genre et mal outillée, a laissé beaucoup à désirer au début, et elle s'est améliorée ensuite : la proportion des rebuts y a dépassé en moyenne le chiffre de 20 p. 100.

Surveillance dans les usines. — Le marché réservait à l'ingénieur le droit de faire surveiller la fabrication des usines. Cette surveillance est essentielle et doit être permanente, car c'est dans les usines que se font les essais des fontes, la visite, l'ajustage et la réception provisoire des pièces, l'assemblage à plat des fermes, et enfin le pesage et l'application de la première couche de peinture.

L'assemblage à plat des fermes doit être vérifié avec

soin, et, pour éviter toute chance d'erreur, on a exigé que cette vérification fût faite au moyen de règles en bois de 5 mètres de longueur, identiques à celles qui avaient servi à l'implantation des maçonneries et étalonnées sur elles.

C'est également d'après ces règles en bois que l'on a gradué les mètres spéciaux qui tiennent compte du retrait de la fonte ($0^{m},01$ par mètre environ), et dont on se sert pour l'exécution des modèles.

Modèles. — Les modèles ont été exécutés :

— en sapin du Nord pour les coussinets, les voussoirs, les tympans et la corniche ;

— en noyer, pour les modillons de la corniche et les pilastres du parapet ;

— en fonte, pour les panneaux du parapet.

On donne un excès d'épaisseur ($0^{m},005$ à $0^{m},01$), aux parties qui doivent être ajustées ou rabotées. Si la surépaisseur n'est pas suffisante, l'outil mord mal sur la fonte qui présente des surfaces partielles non dressées, dites coups de feu.

Les modèles en bois tendent à se gauchir dans le sable humide, et ils se déforment à l'usage. Lorsqu'ils servent à faire plusieurs moules semblables, il faut chaque fois les vérifier avec soin et les réparer.

Moulage. — On a moulé :

— en sable étuvé, les coussinets de retombée, les voussoirs et les corniches ;

— en sable flambé ou séché, les panneaux des tympans ;

— en sable vert, avec noyau étuvé, les pilastres du parapet ;

— en sable vert, les panneaux du parapet.

L'étuvage a été fait dans des chambres en maçonnerie chauffées soit avec les gaz perdus des hauts fourneaux, soit avec un feu de houille ou de coke. Les moules restaien

dans l'étuve pendant 20 ou 24 heures. Au début de la fabrication, l'usine de Lavoulte, qui n'avait pas d'étuves assez grandes, s'est contentée de sécher les moules à l'air libre avec un feu de coke placé sur des feuilles de tôle; elle n'a pas obtenu ainsi de bons résultats (les parties extrêmes du moule n'étaient presque jamais assez sèches) et elle a renoncé à ce système, après avoir construit une nouvelle étuve.

Le flambage des panneaux de tympans a été fait à Lavoulte avec des fagots enduits de goudron, et, à Tamaris, avec un feu de coke ou de copeaux ne durant que quelques minutes.

Les assemblages des châssis ne sont jamais parfaits : la fonte pénètre toujours plus ou moins dans les joints, et forme sur les pièces des bavures saillantes que l'on nomme coutures. Ces coutures sont difficiles à buriner proprement quand elles se présentent au milieu de surfaces planes, et on doit autant que possible faire correspondre les joints des châssis à des arêtes.

Nous n'avons pas pu obtenir, malgré nos instances, que les panneaux de tympans fussent moulés en sable étuvé, procédé qui donne les meilleurs résultats.

Les usines nous ont objecté que pour des pièces minces d'aussi grandes dimensions, le sable étuvé offrirait une trop grande résistance au retrait.

L'objection peut avoir sa valeur. On a exécuté cependant à Lavoulte un panneau en sable étuvé qui est très bien venu et qui fait aujourd'hui partie des ponts.

Les grands panneaux de tympans présentaient du reste, nous devons le reconnaître, de réelles difficultés, et on a obtenu en somme des résultats très satisfaisants à Tamaris, grâce aux précautions prises pour le lissage et le séchage des surfaces. On démoulait peu de temps après la coulée.

Nature des fontes. — Le marché prescrivait l'emploi de fonte de 2e fusion.

Cette prescription a été rigoureusement suivie à Tamaris. A Lavoulte, on a autorisé exceptionnellement l'emploi de fonte de 1re fusion, soit seule, soit mélangée en proportions variables avec de la fonte de 2e fusion.

Ébarbage. — L'ébarbage consiste à enlever au moyen de racloirs et de brosses en fil de fer le sable qui reste adhérent aux pièces, et à buriner les bavures ainsi que l'emplacement des jets et des évents.

Les pièces moulées en sable étuvé se nettoient assez facilement. Mais les pièces moulées en sable vert retiennent toujours une certaine quantité de sable qui s'enlève mieux, quoique difficilement encore, quelque temps après.

Visite des pièces. — Une première visite des pièces a été faite après l'ébarbage. C'est à ce moment qu'il convient d'éliminer les pièces défectueuses, celles qui ne remplissent pas les conditions de poids réglementaires, et enfin celles qui proviennent des coulées pour lesquelles les barreaux d'essai n'ont pas satisfait aux épreuves dont il sera parlé plus loin.

Les pièces rebutées étaient mises de côté et brisées, et les pièces reconnues susceptibles d'emploi étaient poinçonnées à la marque de l'administration.

Défauts des fontes. — Les défauts qui ont été relevés le plus habituellement sont les suivants : soufflures, piqûres, criqûres, reprises, gouttes froides, friassures, dartres, pourritures, gauchissements, écornures, épaufrures, épaisseurs irrégulières, bosses.

Les soufflures sont déterminées par les bulles d'air ou de gaz qui n'ont pas pu s'échapper. On les trouve surtout dans la partie supérieure des pièces. Elles sont rarement apparentes et presque toujours recouvertes d'une couche métallique de peu d'épaisseur, quelquefois plus brillante que les parties voisines.

Les piqûres sont de petites soufflures.

Les criqûres sont des fentes produites par le retrait; elles se sont manifestées principalement dans la nervure supérieure des corniches.

Les reprises sont des défauts de soudure qui proviennent le plus souvent d'un temps d'arrêt dans la coulée. Elles sont presque toujours visibles sur les deux faces de la pièce, et on peut, avec un marteau, séparer les parties qui ne sont pas soudées.

Les gouttes froides et les friassures se produisent quand la fonte n'est pas assez chaude ou quand elle n'est pas assez fluide. Les gouttes froides entraînent en général des défauts de soudure, et on a trouvé dans le voisinage des vides analogues à de petites soufflures.

Les dartres consistent en crevasses remplies de sable. Le sable, lorsqu'il est entraîné par la fonte au moment de la coulée, forme un creux auquel correspond une bosse, et il va se déposer à la partie supérieure du moule, où il détermine une crevasse. Ce défaut, rare dans les pièces coulées en sable d'étuve, a été au contraire fréquent pour les pièces coulées en sable vert.

Les crasses ou pourritures proviennent des impuretés de la fonte; on les a trouvées près des jets et à la partie supérieure des pièces moulées en sable vert.

Les épaisseurs irrégulières, les écornures, les épaufrures proviennent de modèles ou de moules défectueux.

L'usine de Lavoulte a produit un certain nombre de voussoirs courbes. Ce résultat paraît dû à l'emploi de modèles déformés.

Réparation des défauts; tolérance. — L'appréciation des défauts qui doivent entraîner le rebut d'une pièce est chose délicate, et aucune règle ne peut être donnée à ce sujet. Tout dépend de la destination de la pièce ainsi que de la nature et de l'importance des défauts relevés à la surface.

Il faut être d'autant plus sévère que le système adopté pour le moulage est plus défectueux, et n'admettre que des pièces bien nettes et bien saines.

On a toléré, aux ponts Sully, les défauts qui n'ont pas paru de nature à nuire à la solidité, et qu'il a été possible de dissimuler convenablement.

Les soufflures, les criqûres, les dartres et les pourritures peuvent être réparées avec des pièces de fer rapportées ou au moyen de soudures.

L'emploi de pièces de fer ne présente aucun inconvénient ; on dresse au burin et à la lime l'emplacement de la pièce à rapporter, on l'introduit à force avec un marteau et on la fixe avec des vis en fer.

Les soudures se font avec du zinc, des alliages fusibles à une température peu élevée ou de la fonte. Le zinc et les alliages ne se soudent pas avec la fonte, et on ne peut s'en servir que pour des soufflures peu importantes. L'emploi de la fonte s'impose dès qu'il s'agit de criqûres ou de pourritures un peu importantes ; ce procédé a donné rarement de bons résultats, quelles que fussent les précautions prises, et il s'est presque toujours produit des cassures au retrait. On doit ne l'employer qu'avec une extrême réserve, sinon le proscrire absolument.

Les soufflures et les dartres ont été aussi bouchées avec du mastic à la limaille de fonte appliqué à chaud dans la cavité bien nettoyée.

Enfin les gouttes froides et les friassures ont pu être dissimulées en partie, avec du mastic de vitrier, au moment de l'application de la 1re couche de peinture.

Les voussoirs qui présentaient plus de $0^{m},015$ de gauche ont été rebutés, et les autres ont été employés. Cette tolérance n'a pas présenté d'inconvénients.

Essais des fontes. — Les fontes ont été essayées au choc et à la flexion.

Les essais au choc ont été faits sur des barreaux carrés de $0^m,04$ de côté et de $0^m,20$ de long, avec un boulet libre de 12 kilog. suspendu à une ficelle, et une enclume de 12 kilog. simplement posée sur le sable, dont les couteaux étaient espacés de $0^m,16$. On partait de la hauteur initiale de $0^m.65$, et on procédait par augmentations successives de $0^m,05$. Ce système est d'une application délicate et ne donne pas des résultats bien précis. On opérait mieux à Lavoulte qu'à Tamaris.

On a fait des essais comparatifs sur des barreaux de mêmes dimensions, avec un mouton arrondi de 12 kilog. maintenu par des guides verticaux, et une enclume de 800 kilog. scellée dans le sol, dont les couteaux étaient également espacés de $0^m,16$, en partant de la hauteur initiale de $0^m,35$ et procédant par augmentations successives de $0^m,02$. Cet appareil donne des résultats plus rapides et plus sûrs et doit être préféré au précédent.

Les essais à la flexion ont été faits sur des barreaux carrés de $0^m,0815$ de côté et de $0^m,455$ de long avec l'appareil Monge (Pl. 38, *fig.* 25). Le barreau est placé entre les deux couteaux en acier d'une mâchoire solidement scellée dans un mur, et il est assemblé, au moyen d'un étrier et d'un coin, avec un levier en fer à l'extrémité duquel se trouve un plateau que l'on charge de poids ou une cuve que l'on remplit d'eau. La distance entre le couteau inférieur et le point de suspension de la cuve ou du plateau, ou le bras de levier, est de $2^m,00$. L'appareil de Lavoulte comportait une cuve et celui de Tamaris un plateau. La cuve permet d'éviter les chocs et donne des résultats plus précis. On commençait par charger l'appareil d'une manière continue et régulière jusqu'au poids de 700 kilog. (y compris la tare du plateau ou de la cuve et du levier). On laissait ce poids agir pendant une minute, et on procédait ensuite par augmentations successives de 20 kilog. à une demi-minute d'intervalle.

Le marché stipulait que les barreaux d'épreuve devaient résister : — Pour l'essai au choc, avec boulet libre, à une chute minima de 0m,75 ; — Pour l'essai à la flexion, à un poids minimum de 700 kilog.

Toutes les pièces provenant d'une coulée portaient le numéro de cette coulée venu de fonte, et le même numéro était reproduit sur les barreaux d'épreuve correspondants.

Ces barreaux étaient au nombre de six par coulée : deux pour chaque essai. Ils étaient moulés en sable d'étuve.

La moitié était fondue au commencement de l'opération et l'autre à la fin avec la fonte restant dans la poche.

Les deux séries parallèles d'essais au choc n'ont pas été organisées dès le début de la fabrication.

On a réduit le nombre des barreaux pour les coulées peu importantes, et on n'a pas fait d'essais pour les coulées qui ne comportaient que des pièces de corniche et de parapet.

Quelques barreaux ont présenté des défauts (gouttes froides, pourritures) qui en ont altéré la résistance.

Élimination faite de ces circonstances exceptionnelles, il reste une série complète de 161 essais pour Lavoulte et de 118 pour Tamaris, qui donne les résultats consignés au tableau ci-après :

		ESSAIS AU CHOC		ESSAIS à la flexion avec l'appareil Monge.
		avec le boulet libre.	avec le boulet guidé.	
Usine de Tamaris.		centim.	centim.	kilog.
Fonte de 2e fusion (118 coulées).	Minimum.	70,0	37,0	670
	Maximum.	165,0	60,0	1.490
	Moyenne.	97,6	44,5	944
Usine de Lavoulte.				
Fonte de 2me fusion (144 coulées).	Minimum.	65,0	35,0	675
	Maximum.	140.0	65,0	1.500
	Moyenne.	92,0	45,5	1.055
Fonte de 1re fusion (7 coulées).	Minimum.	80,0	40,0	900
	Maximum.	135,0	59,0	1.400
	Moyenne.	101,7	49,0	1.112
Mélanges de 1re et 2me fusion (10 coulées).	Minimum.	70,0	39,0	800
	Maximum.	120,0	60.0	1.250
	Moyenne.	85,7	43,5	955

Ainsi, la hauteur du boulet guidé qui détermine la rupture est à très peu près la moitié de celle du boulet libre.

La fonte de deuxième fusion de Tamaris a une résistance moyenne un peu plus faible que la fonte de deuxième fusion de Lavoulte.

A Lavoulte, la fonte de deuxième fusion a donné une résistance inférieure à celle de la fonte de première fusion, et le mélange des deux espèces de fonte ne vient qu'en troisième ligne.

Dans les essais à la flexion, un certain nombre de barreaux se sont cassés, non au moment de l'addition des poids, mais dans les intervalles, ce qui montre que la charge qui détermine la rupture dépend dans une légère mesure du temps pendant lequel elle agit.

Les barreaux essayés au choc et à la flexion ont tous accusé une fonte grise à cassure pleine et homogène avec des grains fins et serrés sur les bords et un peu plus gros vers le centre. La partie extérieure où les grains sont fins et serrés, ou la croûte, avait au plus $0^m,01$ d'épaisseur.

Cette différence de texture correspond, comme on sait, à une différence de résistance à l'écrasement.

Voici, à titre d'indication, les résultats donnés par des prismes carrés de $0^m,01$ de côté et de $0^m,02$ de hauteur, découpés dans deux barreaux préalablement essayés à la flexion et provenant, l'un de Lavoulte et l'autre de Tamaris. On a pris dans chacun de ces barreaux huit prismes, dont quatre au centre et quatre à la croûte, et on a obtenu pour la résistance à l'écrasement par millimètre carré les moyennes ci-après.

— Pour le barreau de Lavoulte, qui s'était rompu à la flexion sous une charge de 975 kilog.:

	kilog.
Croûte.	69,3
Intérieur	55,3

— Pour le barreau de Tamaris, qui s'était rompu à la flexion sous une charge de 950 kilog. :

	kilog.
Croûte.	64,7
Intérieur	57,1

Percement des trous de boulons. — Il est d'usage, pour les pièces à assembler au moyen de boulons, de faire venir l'un des trous de fonte (*) en lui donnant un diamètre plus faible, afin de pouvoir l'aléser convenablement, et de percer l'autre à la demande.

Cette pratique a été suivie aux ponts Sully. Elle n'a pas présenté d'inconvénients sérieux. Mais il est rare que les trous ainsi réservés occupent exactement leur véritable position, et quand on a un certain nombre de pièces semblables à assembler, il est préférable pour l'ajusteur de percer tous les trous d'après le même gabarit.

On est allé plus loin pour l'assemblage des corniches avec les fermes, qui exigeait moins de précision, et, afin d'activer la pose, on a fait venir les deux trous de fonte en les allongeant dans deux directions perpendiculaires. Il n'y a pas eu, au montage, concordance entre ces trous, et le résultat obtenu n'a pas été satisfaisant. Ce mode de procéder doit être absolument proscrit.

Il convient même, suivant nous, d'interdire d'une manière générale l'usage des trous venus de fonte.

Assemblage à plat des fermes. — On a assemblé à plat, dans les usines, les arcs et les tympans qui composent chaque ferme, après le rabotage des joints.

Cet assemblage a été fait sur un chantier formé de vieux rails en fer placés à une certaine hauteur au-dessus du sol, afin de permettre de vérifier les deux faces de la ferme.

(*) Chaque trou de boulon est accompagné d'un renflement ou portée en fonte qui fait une légère saillie sur la pièce. Cette saillie est de $0^{m},01$ aux ponts Sully.

On a assemblé d'abord les voussoirs de l'arc en les serrant les uns contre les autres au moyen de serre-joints, puis on a tracé et percé les trous des boulons. On a assemblé ensuite, au moyen de serre-joints, les panneaux des tympans entre eux et avec l'arc, et on a tracé et percé les trous des boulons.

Cela fait, on a mis de place en place des boulons du calibre définitif pour serrer fortement tous les joints, et on a procédé à la vérification de la ferme.

Cette vérification a consisté à s'assurer d'abord que les boulons étaient parfaitement serrés, qu'il n'y avait aucun jeu dans les joints rabotés, et que l'arc et les tympans étaient bien placés dans un même plan horizontal.

On a constaté ensuite avec un mandrin la concordance des trous d'assemblage dans lesquels il n'y avait pas de boulons.

On a relevé l'épaisseur du joint entre l'arc et le tympan, ainsi que l'alignement du dessus du tympan.

On a vérifié la position du tympan par rapport à l'arc, et enfin on a mesuré avec le plus grand soin la flèche et la corde de l'arc.

Les mesurages ont été faits avec des règles en bois de 5 mètres de longueur, comme on l'a déjà dit.

On s'est attaché autant que possible à éviter d'avoir à faire des corrections relatives à la température, en choisissant un moment convenable pour les opérations.

Lorsque cela a été impossible, on a fait les corrections au moyen d'un mètre en acier dont la longueur à zéro coïncidait avec celle des règles en bois. On plaçait à l'avance ce mètre en acier sur l'arc métallique, de façon qu'il prît à peu près la température de la fonte; on le comparait, au moment du mesurage, avec la règle en bois, et on rectifiait en conséquence les longueurs données par cette dernière règle.

La tolérance fixée était de $0^m,005$ en plus ou en moins

pour la corde et de 0^{m},005 en moins pour la flèche de l'arc. On s'est tenu, en fait, à quelques millimètres près dans ces limites; mais, pour obtenir ce résultat, on a dû retoucher le voussoir de clef de la plupart des fermes.

Réception provisoire. Pesage. Peinture. — La réception provisoire des pièces a été prononcée après l'assemblage à plat quand le travail de l'usine a été complètement terminé, et on a pris à ce moment le poids net à porter en compte, avant peinture.

Toutes les pièces de fonte ont reçu à l'usine une première couche générale de peinture au minium, puis une deuxième couche de peinture au minium qui a été appliquée seulement sur les surfaces qui ne pouvaient pas être peintes après le montage définitif. Il est essentiel que les pièces soient bien sèches et bien nettoyées. S'il reste du sable adhérent à la surface, la peinture en séchant se détache de la pièce et entraîne le sable. Cet effet est particulièrement à craindre pour les pièces moulées en sable vert.

Enfin, et avant l'expédition, toutes les pièces de fonte ont été repérées à la peinture suivant le système de notation arrêté en vue du montage.

Poids des fontes. — Le poids total de fonte prévu au projet était de 1.645.500 kilog.

Le poids total porté en compte est de 1.630.200^{k},87. Ce chiffre représente le poids théorique augmenté de 3 p. 100, plus un supplément de 6.367^{k},76, résultant d'une concession faite à l'entrepreneur et qui a consisté à élever, pour les corniches, la tolérance à 10 p. 100.

Le poids total réellement fourni par l'entrepreneur est de 1.668.617^{k},10.

L'excédent de poids non porté en compte est par conséquent de 38.416^{k},23, ou de 2,35 p. 100 sur l'ensemble de la fourniture.

Cet excédent se subdivise comme suit :

DÉSIGNATION des pièces.	POIDS porté en compte.	POIDS réel.	AUGMENTATION		DIMINUTION	
			en poids.	prop. p. 100.	en poids.	prop. p. 100.
Fabrication de Tamaris.						
	kilog.	kilog.	kilog.		kilog.	
Plaques de retombée. . . .	12.961,52	12.322,00	»	»	639,52	4,93
Voussoirs.	300.329,46	300.227,00	»	»	102,46	0,03
Panneaux de tympans. . .	155.983,20	161.211,00	5.227,80	3,35	»	»
Ornements de tympans. . .	1.583,11	1.514,00	»	»	69,11	4,37
Panneaux de corniche. . . .	100.064,80	102.809,30	2.744.50	2,74	»	»
Médaillons de corniche. . .	3.957,26	4.655,80	698.54	17,90	»	»
Parapet.	62.290,28	61.794,00	»	»	496,28	0,80
	637.169.63	644.533,10	8 670.84		1.307,37	
			7 363^k,47 ou 1,15 p. 100.			
Fabrication de la Voulte.						
Plaques de retombée	32.136,00	32.618,00	482,00	1,48	»	»
Voussoirs.	662.816,42	674.484,00	11.664,58	1,76	»	»
Panneaux de tympans . . .	298.075,82	316.982,00	18.906,18	6,35	»	»
	993.031,24	1.024.084,00	31.052,76		»	
			31.052^k,76 ou 3,12 p. 100.			

Deux pièces seulement ont présenté un poids individuel inférieur de plus de 5 p. 100 au poids théorique ; elles ont été reçues. On n'a pas usé de la faculté de rejeter les pièces dont le poids individuel dépassait le poids théorique de plus de 5 p. 100. Le tableau ci-dessus donne donc exactement les résultats de la fabrication des deux usines.

On voit que, pour les plaques de retombée, l'usine de Lavoulte a une augmentation de 1,48 p. 100, tandis que l'usine de Tamaris a réalisé une économie de 4,93 p. 100.

Pour les voussoirs, on a à Lavoulte une augmentation de 1,76 p. 100, et à Tamaris une économie de 0,03 p. 100.

Pour les panneaux de tympan, l'augmentation, qui est de 6,35 p. 100 à Lavoulte, se réduit à 3,35 à Tamaris.

L'augmentation sur l'ensemble de la fabrication est, en

résumé, de 3,12 p. 100 à Lavoulte, et elle se réduit à 1,15 p. 100 à Tamaris, qui avait à fabriquer toutes les pièces de sujétion et d'ornement.

Le poids réel d'une pièce est presque toujours supérieur au poids théorique, et, lorsqu'on fabrique plusieurs pièces identiques avec le même modèle, il y a des écarts de poids assez notables d'une pièce à l'autre.

Ces augmentations et variations de poids tiennent à deux causes : d'une part, l'ébranlement qu'il faut donner au modèle pour le retirer du moule et qui a pour effet d'agrandir un peu le moule, et d'autre part le tassement que le sable éprouve sous le poids de la fonte au moment de la coulée, tassement qui dépend du degré de compression et de siccité du sable. Les résultats varient d'ailleurs avec l'habileté des mouleurs, suivant le soin apporté au foulage du sable et à l'enlèvement du modèle.

Un fondeur consciencieux et expérimenté peut prévenir en partie les augmentations de poids en tenant les modèles un peu faibles.

L'usine de Tamaris a dû prendre cette précaution, qui était négligée à Lavoulte, et les résultats qu'elle a obtenus doivent être considérés comme satisfaisants, eu égard aux sujétions des panneaux de tympans et de corniche.

La densité de 7,20 adoptée pour le calcul des poids théoriques est large ; mais les tolérances fixées étaient peut-être un peu faibles.

VI. — Montage des ponts.

État des maçonneries avant le montage. — L'état des maçonneries a été constaté contradictoirement au moment où on a commencé le montage de la partie métallique, afin de dégager nettement les responsabilités.

L'implantation des maçonneries avait été faite avec beaucoup de soin ; mais le biais des ponts et l'absence

d'échafaudages fixes avaient rendu les opérations délicates, et il importait de vérifier les résultats obtenus.

On s'est servi à cet effet des ponts de service établis par l'entrepreneur de la partie métallique. On a mesuré l'écartement des piles suivant le biais, entre les parements des piles et culées, au-dessus des sommiers, pour chaque arche à l'amont et l'aval, puis on a vérifié la position des sommiers par rapport à ces parements et leur altitude.

On a ainsi constaté :

— que les parements extérieurs des piles et culées de chaque pont étaient rigoureusement parallèles ;

— que les sommiers étaient placés exactement à l'altitude fixée et suivant l'inclinaison prescrite ;

— et enfin qu'à 2 ou 3 millimètres près en plus ou moins, les cordes réelles étaient trop faibles de :

— $0^{m},010$ pour l'arche centrale. . } du grand bras,
— 0 ,004 pour les arches latérales }
— 0 ,002 pour l'arche du petit bras.

On a placé, après cette vérification, des repères d'altitude à la tête amont et à la tête aval de chaque pile, sur l'assise correspondant aux sommiers, et on a tracé des lignes verticales sur les têtes et sur les faces latérales des piles et culées, afin de pouvoir constater les mouvements ultérieurs.

Montage. — Les arcs ont été montés et ajustés sur des cintres fixes.

Les voussoirs reposaient sur des coins en bois. On a commencé la pose par les voussoirs de naissance, en plaçant entre eux et les coussinets de retombée, dans l'intervalle des cales définitives, des cales provisoires un peu plus faibles, puis on a attelé les autres voussoirs à la suite.

On a placé le voussoir de clef au milieu de l'arche, à l'altitude fixée par les dessins d'exécution, puis on a rappelé les autres voussoirs contre le voussoir de clef, en serrant

fortement les écrous des boulons d'attelage et forçant les cales provisoires.

On a placé en même temps et réglé l'entretoisement des arcs.

Les cales provisoires ont été serrées à un moment de basse température (*). La clef des arcs s'est relevée avec la température et l'on a retiré les coins en bois qui ne portaient plus les voussoirs, opérant ainsi le décintrement.

Les cales définitives en acier, préparées à l'avance et tenues à cet effet un peu fortes, ont été rabotées sur le chantier, à la demande, et mises en place au fur et à mesure de leur préparation. Elles ont été serrées sans forcer les arcs, de manière à assurer simplement le dégagement des cales provisoires, et l'on a tenu les cales extrêmes du haut et du bas un peu lâches de manière à faire porter toute la pression sur les deux cales du milieu.

On n'a pas attendu d'ailleurs que la pose des cales définitives fût terminée pour continuer le montage, et la pose des tympans, de leur entretoisement et des poutrelles du tablier a été menée parallèlement.

Les pièces d'entretoisement des arcs et tympans avaient été préparées à l'avance à l'atelier, mais on avait réservé l'un des assemblages qui a été exécuté sur place. On a pu ainsi régler sans difficulté la longueur des pièces à la demande de manière à placer les fermes dans des plans verticaux bien parallèles.

Les corniches ont été mises en place le plus tard possible, quand la charge permanente a été à peu près complète. On a placé d'abord les corniches en pierre des piles et culées sur le grand bras aux altitudes fixées par le projet, et sur le petit bras à un niveau un peu plus élevé, commandé par la hauteur de la clef des arches en maçonnerie dont le sur-

---

(*) La température exacte n'a pas été observée. Elle a dû peu s'écarter du chiffre de + 10°, pour lequel les dessins d'exécution avaient été dressés.

haussement avait persisté après le décintrement. Puis on a réglé les corniches en fonte suivant des lignes droites partant du sommet des arcs et aboutissant aux corniches en pierre, en faisant varier l'épaisseur du joint à la clef de manière à corriger le mieux possible les irrégularités du montage. Les panneaux de raccordement avec les corniches en pierre ont été posés en dernier lieu, et les dimensions de ces panneaux fondus après coup ont été relevées sur place. On a pris la même précaution pour les parapets. Elle est indispensable si l'on veut avoir de bons racoordements : la longueur vraie des panneaux d'extrémité a différé en effet de quelques centimètres de la longueur théorique.

Mastic à la limaille de fonte. — On a adopté pour le mastic des joints la composition suivante (*) :

	kilog.
Limaille de fonte.	100
Fleur de soufre.	4
Sel ammoniacal.	2

On mêlait le tout à sec, on ajoutait un peu d'eau pour déterminer la réaction, puis on noyait le mélange à ras. On bourrait au matoir le mastic ainsi préparé dans le joint, après avoir nettoyé et humecté les surfaces avec l'eau du mastic.

Ce mastic a été payé au kilogramme au même prix que la fonte. Sa densité est de $3^k,752$.

Il ressue pendant longtemps et détériore les peintures. Aussi convient-il de faire les joints le plus tôt possible.

(*) Cette composition a été adoptée après des essais comparatifs qui ont porté sur les types suivants :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Limaille de fonte. . .	100	100	100,0	100	100,00
Fleur de soufre. . . .	4	2	1,6	2	1,20
Sel ammoniacal. . . .	2	1	1,0	4	0,60

Résultats du montage. — Les résultats généraux du montage pour les quatre arches sont les suivants :

Les arcs ont été assemblés avec une précision qui n'a rien laissé à désirer, et le contact a été parfait pour tous les joints rabotés des voussoirs qui n'ont pas présenté le moindre bâillement.

L'épaisseur moyenne des cales, qui devait être de 46^{mm},5, a varié entre un minimum de 15^{mm},3 et un maximum de 61^{mm},3. Elle a été en moyenne de 41^{mm},27. Le fruit des cales a également présenté des variations très notables.

Le joint des tympans, qui devait être de 15 millimètres, a varié entre un minimum de 4 millimètres et un maximum de 41 millimètres. Il a été en moyenne de 18^{mm},27.

Pour le joint des corniches, fixé à 14 millimètres, l'épaisseur à la clef a varié de 7 à 23 millimètres, et a été en moyenne de 14^{mm},8. L'épaisseur près des piles et culées a varié de 18 à 38 millimètres, et a été en moyenne de 28^{mm},4. Dans les parties intermédiaires, le joint a atteint jusqu'à 50 millimètres et est descendu jusqu'à 7 millimètres. La moyenne générale est de 26^{mm},1.

Le tableau ci-après donne les chiffres minima, maxima et moyens pour chaque arche :

	ÉPAISSEUR MOYENNE des cales			JOINT des tympans.			JOINT des corniches.		
	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.
Pont du grand bras.									
Arche centrale.	25,0	51,0	39,6	5	40	18,1	14	36	25,9
Arche latérale rive gauche. . .	29,3	61,3	44,4	5	37	18,4	7	50	31,1
Arche latérale rive droite. . . .	15,3	56,3	38,8	4	30	18,1	7	46	24,9
Pont du petit bras.									
Arche unique.	28,7	55,2	42,3	5	41	18,5	14	32	22,5
Moyennes générales. .	. . . .	. . . .	41,27	. . . .	. . . .	18,27	. . . .	. . . .	26,1

VII. — Effets produits par la charge permanente et les variations de température.

Indications générales. — Les effets produits par la charge permanente pendant la période de construction des arches métalliques, qui a duré six mois environ, ont été constatés au moyen de nivellements de précision exécutés à diverses époques.

Le premier nivellement a été fait au moment où le montage de l'ossature métallique de chaque arche a été terminé, avant l'exécution des voûtes du tablier.

Le dernier nivellement a été exécuté après l'achèvement complet des travaux au moment de procéder aux épreuves.

Les points repérés étaient la clef et le milieu des reins de chaque arc.

En comparant les résultats donnés par le premier nivellement aux cotes théoriques, on a exactement l'effet total provenant des erreurs de pose et du tassement déterminé par le poids propre de l'ossature métallique.

En rapprochant le dernier nivellement du premier, on obtient le tassement déterminé par le poids du tablier (voûtes et chaussée). Les points sur lesquels reposait la mire ont varié avec l'état d'avancement des travaux, et, pour rattacher chaque nivellement au suivant, on a dû faire les corrections correspondant aux déplacements des points de repère. Ces corrections présentaient un certain aléa, et, si les tassements ainsi déterminés ne sont pas rigoureusement exacts, ils doivent tout au moins s'écarter très peu de la vérité.

Les résultats bruts constatés sont compliqués par les effets dus aux variations de température, et il y a de ce chef une première correction à leur faire subir.

On a vérifié, lors du dernier nivellement, l'altitude des

sommiers en pierre de taille (*), et on a ainsi constaté que les piles et culées avaient tassé pendant la construction des arches métalliques : d'où la nécessité d'une deuxième correction pour avoir le tassement propre des arcs.

On ne parlera ici que des tassements à la clef pour lesquels il est possible de faire les corrections relatives aux variations de température et au tassement des maçonneries. On indiquera séparément les tassements des arcs de tête et ceux des arcs intermédiaires, et on ne donnera pour ces derniers que les chiffres maxima, minima et moyens, qui sont les seuls intéressants à retenir. Les minima correspondent aux fermes de rive et les maxima aux fermes du milieu de la chaussée, qui sont les plus chargées.

Tassement des sommiers des piles et culées. — Les tassements éprouvés par les sommiers des piles et culées, pendant toute la période de construction des arches métalliques depuis l'origine du montage jusqu'au moment des épreuves, sont donnés en millimètres par le tableau ci-après :

PONT DU GRAND BRAS								PONT DU PETIT BRAS			
culée rive gauche. Tête		pile rive gauche. Tête		pile rive droite. Tête.		culée rive droite. Tête		pile-culée rive gauche. Tête		pile-culée rive droite. Tête	
amont.	aval.	amont.	aval.	amont.	aval.	amont.	aval.	amont.	aval.	amont.	aval.
10^{mm}	10^{mm}	14^{mm}	14^{mm}	15^{mm}	15^{mm}	10^{mm}	7^{mm}	3^{mm}	4^{mm}	4^{mm}	4^{mm}
10^{mm}		14^{mm}		15^{mm}		$8^{mm},5$		$3^{mm},5$		4^{mm}	

Effets produits par les variations de température. — Les déplacements de la clef des arcs sont théoriquement proportionnels aux variations de température.

(*) Cette vérification n'avait pas été faite dans les nivellements précédents, de sorte qu'on ne peut donner aucune indication sur la manière dont le tassement des maçonneries s'est produit.

On a calculé ces déplacements d'après la formule de M. Bresse pour les arcs sous chaussée des trois arches, et on a obtenu les chiffres suivants (*) :

	millimètres.
Arche centrale pour 1° centigrade.	1,03
Arches latérales —	1,06
Petit bras —	0,78

Les arcs de rive, qui ont d'autres sections, donneraient des résultats différents, qui n'ont pas été calculés.

Des observations directes ont été faites sur l'arche rive gauche du grand bras au moyen de règles en bois fixées au sommet des arcs et glissant le long d'autres règles scellées dans le sol du bas-port Saint-Bernard. Ces observations ont donné les résultats consignés au tableau ci-après, et on a mis en regard les déplacements théoriques pour les fermes sous chaussée :

VARIATIONS de température.	NATURE du déplacement.	DÉPLACEMENTS OBSERVÉS. Fermes de rive			Fermes sous chaussée					DÉPLACEMENT théorique des fermes sous chaussée.
		n° 1, amont.	n° 11, aval.	moyenne.	n° 3.	n° 5.	n° 7.	n° 9.	moyenne.	
degrés.		millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
+ 3	Relèvement	4,5	4,0	4,25	3,2	1,5	1,5	3,0	2,30	3,18
− 6 1/2	Abaissement	3,5	4,5	4,00	5,0	7,0	8,5	6,0	6,62	6,89
− 9	Id.	6,0	7,0	6,50	7,0	9,6	11,5	9,6	9,42	9,54
−12	Id.	9,0	10,0	9,50	10,5	13,0	15,0	12,5	12,75	12,72
−13 1/2	Id.	9,5	12,0	10,75	12,0	14,0	16,0	14,0	14,00	14,31

La concordance entre la théorie et l'observation est aussi satisfaisante que possible en ce qui concerne les arcs sous chaussée.

L'expérience montre d'ailleurs que les arcs de rive donnent des résultats plus faibles que les arcs sous chaussée d'un quart environ.

(*) On a admis pour le coefficient de dilatation de la fonte le chiffre de $\lambda = 0^m,000.011.1$ pour 1° centigrade.

On peut donc admettre avec confiance les chiffres ci-après comme représentant l'effet produit par une variation de température de 1 degré :

	ARCS de rive.	ARCS sous chaussée.
Pont du grand bras.	millim.	millim.
Arche centrale	0,75	1,03
Arches latérales	0,75	1,06
Pont du petit bras.		
Arche uniqne	0,60	0,78

Tassement déterminé par le poids de l'ossature métallique et erreurs de pose. — Les résultats bruts constatés par le premier nivellement, sont résumés dans le tableau ci-après :

	TEMPÉRATURE au moment du nivellement.	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
		amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	degrés	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale	+25	19	24	18	34	27,77	26,63
Arche latérale rive gauche.	+22	25	26	12	30	21,11	21,91
Arche latérale rive droite.	+16	15	29	16	23	20,11	20,45
Pont du petit bras.							
Arche unique	+15	+3	+3	+1	9	5,44	3,91

Ces chiffres représentent les abaissements de la clef en millimètres, correspondant aux températures indiquées. Pour avoir des résultats comparables, il faut éliminer l'effet dû à la température et ramener par le calcul tous les arcs à la température moyenne de 10°. On obtient ainsi les abaissements consignés au tableau suivant :

	TEMPÉRATURE.	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
		amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	degrés	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale.	+10	30,3	35,3	33,5	49,5	43,27	41,37
Arche latérale rive gauche.	+10	34,0	35,0	24,7	42,7	33,81	33,93
Arche latérale rive droite. .	+10	19,5	33,5	22,4	29,4	26,51	26,51
Pont du petit bras.							
Arche unique	+10	0,0	0,0	2,9	12,9	9,34	7,64

Tassement produit par le poids du tablier. — Les résultats bruts donnés par le rapprochement du premier et du dernier nivellement sont résumés dans le tableau ci-après :

	DIFFÉRENCE de la température entre les deux nivellements.	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
		amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	degrés	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale.	—21	42	39	44	80	64,22	59,91
Arche latérale rive gauche.	—18 1/2	18	21	25	73	56,44	49,72
Arche latérale rive droite. .	—15	26	21	40	80	66,22	58,45
Pont du petit bras.							
Arche unique	— 6	28	24	36	55	46,33	42,63

En faisant la correction relative aux variations de température, on obtient les chiffres consignés au tableau suivant qui représentent le tassement dû au poids propre du tablier.

	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
	amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale.	26,3	23,3	22,4	58,4	42,62	39,38
Arche latérale rive gauche.	4,1	7,1	5,4	53,4	36,84	31,16
Arche latérale rive droite. .	14,8	9,8	24,1	64,1	50,32	43,41
Pont du petit bras.						
Arche unique	24,4	20,4	31,3	50,3	41,63	38,13

Tassement total déterminé par le poids des arches métalliques. — En résumé, le tassement total de la clef, déterminé par le poids des arches métalliques y compris les erreurs de pose, est donné, pour la température moyenne de 10°, par le tableau ci-après :

	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
	amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale.	56,6	58,6	55,9	98,9	85,89	80,75
Arche latérale rive gauche.	38,1	42,1	37,1	92,1	70,65	65,09
Arche latérale rive droite.	34,3	43,3	50,5	91,5	76,83	69,92
Pont du petit bras.						
Arche unique	24,4	20,4	41,2	60,2	50,97	45,77

Et correction faite du tassement des piles et culées, on trouve pour la déformation propre des arcs, les chiffres consignés au tableau suivant :

	ARCS DE TÊTE		ARCS INTERMÉDIAIRES			MOYENNE
	amont.	aval.	minimum.	maximum.	moyenne.	générale.
Pont du grand bras.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Arche centrale	42,1	44,1	41,4	84,4	71,39	66,25
Arche latérale rive gauche.	26,1	30,1	25,1	80,1	58,65	53,09
Arche latérale rive droite.	22,5	31,5	38,7	79,7	65,03	58,12
Pont du petit bras.						
Arche unique.	20,6	16,6	37,4	56,4	47,17	41,97

On voit que les arcs ont tassé de quantités très différentes. Les écarts maxima d'un arc à l'autre ont atteint jusqu'à 57 millimètres dans la même arche ; mais les moyennes pour chaque arche s'écartent peu des surhaussements adoptés (voir p. 501) et des tassements théoriques des arcs intermédiaires calculés d'après les formules de M. Bresse, qui sont de :

— 0m,067 pour l'arche centrale du grand bras,
— 0 ,065 pour les arches latérales du grand bras,
— 0 ,051 pour le petit bras.

Tassement des corniches en pierre. — Il est enfin un dernier point intéressant à signaler.

Les corniches en pierre ont été posées tardivement, comme on l'a dit, sur le grand bras aux altitudes prévues par le projet, et sur le petit bras à un niveau plus élevé. A ce moment les sommiers avaient déjà éprouvé un certain tassement, de sorte que la hauteur entre les sommiers et les corniches en pierre s'est trouvée augmentée de la différence des tassements et des erreurs de pose des corniches.

L'épaisseur théorique du joint des corniches en fonte près des piles et culées a été par suite augmentée de la même quantité, et si l'on compare les épaisseurs théoriques rectifiées de ce joint aux épaisseurs réelles, on arrive aux résultats consignés au tableau ci-après :

	MINIMUM.	MAXIMUM.	MOYENNE.
Pont du grand bras.	millim.	millim.	millim.
Épaisseurs théoriques rectifiées	18	24	22,35
Epaisseurs réelles.	20	38	30,30
Augmentation.	2	17	8,05
Pont du petit bras.			
Épaisseurs théoriques rectifiées	32	33	32,75
Epaisseurs réelles.	18	29	22,75
Diminutions.	4	15	10,00

Ces chiffres donnent la mesure du degré de précision obtenu dans le montage des tympans des fermes de tête; on voit qu'en moyenne l'épaisseur réelle du joint a dépassé de $8^{mm},05$ l'épaisseur théorique rectifiée pour le pont du grand bras, tandis qu'elle est restée de 10 millimètres au-dessous pour le pont du petit bras.

VIII. — Épreuves.

État des ponts avant et après les épreuves. — L'état des ponts a été vérifié avant les épreuves.

C'est à ce moment que l'on a constaté le tassement uniforme des piles et culées déjà signalé. Toutes les maçonneries ont été trouvées en parfait état. Les sommiers étaient sains, et on n'a pas aperçu la moindre trace de fissures.

L'examen minutieux de la partie métallique n'a fait découvrir dans les arcs et les tympans aucun indice accusant la fatigue du métal. Toutes les pièces en fonte et en fer, tous les joints, tous les assemblages étaient intacts. On a remarqué notamment que les joints des voussoirs ne présentaient aucun bâillement. On a enfin fait résonner les cales au marteau, et on a constaté ainsi que la cale inférieure était au moins aussi serrée que les deux cales du milieu, tandis que la cale supérieure était plus lâche : résultat qui s'explique par le tassement des arcs.

Après chacune des épreuves par poids mort et par poids roulant, on a procédé à une nouvelle reconnaissance de l'état des ponts.

Les maçonneries ont été trouvées dans le même état qu'avant les épreuves, et on a constaté que les piles et les culées n'avaient éprouvé aucun mouvement de tassement ni de déversement.

La partie métallique n'a également rien laissé à désirer. Toutes les pièces de fonte et de fer ont été trouvées en

parfait état; tous les joints, tous les assemblages étaient restés intacts.

Épreuves par poids mort. — Les épreuves par poids mort ont consisté à charger successivement chacune des moitiés de chaque arche, puis l'arche entière d'un poids uniformément réparti de 400 kilog. par mètre carré de tablier (*).

Elles ont été faites dans l'ordre suivant :

PONT DU GRAND BRAS.

1° On a chargé la moitié de l'arche rive gauche comprise entre la culée et le milieu de l'arche ;

2° On a chargé ensuite la seconde moitié de cette arche;

3° On a déchargé la première moitié de l'arche rive gauche, et on a chargé la moitié de l'arche centrale contiguë à cette arche;

4° On a déchargé la seconde moitié de l'arche rive gauche, et on a chargé la seconde moitié de l'arche centrale ;

5° On a déchargé la première moitié de l'arche centrale et on a chargé la première moitié de l'arche rive droite ;

6° On a déchargé la seconde moitié de l'arche centrale, et on a chargé la seconde moitié de l'arche rive droite;

7° On a déchargé la première moitié de l'arche rive droite;

8° On a déchargé la seconde moitié de l'arche rive droite.

PONT DU PETIT BRAS.

1° On a chargé la moitié gauche de l'arche;

2° On a chargé ensuite la moitié droite;

(*) La charge d'épreuve a été obtenue au moyen d'une couche de sable uniformément répartie, dont l'épaisseur a été réglée exactement au moyen de cerces en bois épousant le profil de la chaussée et des trottoirs.

3° Puis on a déchargé la première moitié sans toucher à la seconde ;

4° Enfin on a déchargé cette seconde moitié.

Chacune des opérations à faire consistait à transporter à la brouette et à étaler la couche de sable correspondant au chargement d'une demi-arche. Elle devait être commencée le matin à 7 heures et terminée le soir à 4 heures, de manière à laisser un intervalle régulier de 15 heures entre la fin d'une épreuve et le commencement de la suivante.

Le mauvais temps n'a pas permis de procéder avec cette régularité pour le pont du grand bras. Les épreuves de ce pont, commencées le 28 janvier 1876, ont été contrariées au début par le brouillard, et leur fin a coïncidé avec la neige et les froids rigoureux des premiers jours de février, qui ont obligé à suspendre pendant trois jours le déchargement de la dernière moitié de l'arche rive droite, lequel n'a été terminé que le 12 février.

Les épreuves du pont sur le petit bras ont été faites très régulièrement du 19 au 23 février.

Les résultats de ces épreuves ont été constatés au moyen de nivellements de précision. Les points de repère pris sur les pavés de la chaussée et les trottoirs correspondaient, pour chaque arc, à la clef et au milieu des reins, et les observations ont donné par suite les tassements totaux résultant de la déformation des arcs, des tympans et de la chaussée.

On a profité de la présence de la palée basse conservée dans l'arche rive droite du grand bras et du bas port Saint-Bernard pour constater directement, au moyen de règles en bois, les déformations des arcs à la clef dans les arches latérales du grand bras.

Les nivellements ont donné, comme on devait s'y attendre, des chiffres un peu plus forts que les règles ; l'écart est négligeable pour l'arche rive droite, et il a atteint 4 à

6 millimètres pour l'arche rive gauche, où la circulation des voitures, qui ont amené par exception à pied d'œuvre la première couche de sable, a pu faire tasser les pavés pris pour points de repère.

Les chiffres constatés par les nivellements doivent donc être considérés comme des maxima, et on a jugé inutile de leur faire subir les corrections relatives aux variations de température, car ces variations ont été peu considérables, sauf pour l'arche rive droite du grand bras.

Les résultats bruts obtenus sont très réguliers, et ils sont les mêmes pour toutes les arches.

Le chargement de la moitié gauche de chaque arche (1re épreuve) a produit les effets ci-après : la moitié gauche des arcs s'est abaissée sous la charge; le tassement à la clef s'est prolongé sur une partie de la moitié droite, et il y a eu relèvement au delà, près des naissances du côté droit. Les arcs ont été déformés et leurs sommets reportés à droite du milieu de l'arche. Le tassement à la clef a été à très peu près le même qu'au milieu du rein gauche, quoique un peu inférieur, et le milieu du rein droit ne s'est pas déplacé d'une manière sensible. Il correspond à peu près au point de passage entre l'abaissement de gauche et le relèvement de droite. Cet effet a été constaté dès la fin du chargement, et la permanence de la charge a augmenté ensuite les premiers tassements observés.

Les arcs ont repris une forme symétrique pendant la deuxième épreuve, après le chargement de la moitié droite de l'arche, lorsqu'ils ont été uniformément chargés dans toute leur étendue. Le milieu du rein gauche est resté à peu près à sa place avec une tendance au relèvement ; le milieu du rein droit s'est abaissé au même niveau que le milieu du rein gauche à très peu près, et le tassement de la clef a augmenté.

Lorsque la moitié gauche de l'arche a été déchargée (3e épreuve), il y a eu un léger relèvement au sommet des

arcs et au milieu du rein gauche, et le milieu du rein droit resté chargé a continué à s'abaisser. Les arcs se sont déformés en sens inverse avec un tassement total à la clef et aux reins plus fort que pendant la première épreuve, surtout à la clef.

La quatrième opération a consisté enfin à décharger la moitié droite de l'arche. Les arcs redevenus libres se sont relevés et ils ont repris une forme sensiblement symétrique. Mais ils ne sont pas remontés à leur position initiale, et il est resté un tassement final qui a persisté après les épreuves.

Ce tassement final a varié de 0 au minimum à 15 millimètres au maximum à la clef, et pendant les épreuves le maximum de l'abaissement à la clef n'a pas dépassé 24 millimètres.

Le tableau ci-après donne les abaissements maxima, minima et moyens qui constituent les chiffres les plus intéressants pour les quatre épreuves successives de chaque arche.

	VARIATIONS de température.	REIN GAUCHE			CLEF			REIN DROIT		
		minimum.	maximum.	moyenne.	minimum.	maximum.	moyenne.	minimum.	maximum.	moyenne.
PONT DU GRAND BRAS.										
Arche centrale.	degrès.	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
La moitié gauche chargée. . . . (15 h. après le chargement).	−2	6	14	10,9	7	14	11,0	0	3	0,9
L'arche totale chargée. . . . . . (24 h. après le chargement.)	0	6	15	9,4	16	24	21,0	6	10	7,4
La moitié droite chargée. . . . . (14 h. après le chargement).	−2	2	11	5,4	16	23	19,5	9	15	12,7
L'arche entièrement libre. . . . (à la fin du déchargement),	$+0 \frac{1}{2}$	1	8	4,2	5	13	10,1	3	10	6,0
Arche latérale rive gauche.										
La moitié gauche chargée. . . . (16 h. après le chargement).	$-5 \frac{1}{2}$	8	11	10,0	4	11	8,7	− 2	0	−0,8
L'arche totale chargée. . . . . . (18 h. après le chargement).	$-2 \frac{1}{2}$	5	8	6,5	7	20	16,1	12	10	9,1
La moitié droite chargée) . . . . (25 h. après le chargement).	$-4 \frac{1}{2}$	2	5	3,3	9	20	14,1	8	18	14,1
L'arche entièrement libre. . . . (à la fin du déchargement).	−1	0	2	1,2	0	5	3,0	2	10	5,1
Arche latérale rive droite.										
La moitié gauche chargée. . . . (16 h. après le chargement).	−2	5	11	8,8	7	7	7,0	2	3	2,8
L'arche totale chargée. . . . . . (16 h. après le chargement).	−2	4	10	8,0	14	18	16,5	8	13	11,2
La moitié droite chargée. . . . . (113 h. après le chargement).	−10	4	8	6,6	19	24	22,2	15	17	16,4
L'arche entièrement libre . . . . (à la fin du déchargement).	−3	2	4	3,3	10	15	13,6	5	6	5,3
PONT DU PETIT BRAS.										
La moitié gauche chargée. . . . (15 h. après le chargement).	+1	6	9	7,6	5	7	5,8	0	0	0,0
L'arche totale chargée. . . . . . (15 h. après le chargement).	+1	2	6	4,3	6	13	10,4	3	7	5,3
La moitié droite chargée. . . . . (14 h. après le chargement).	0	3	7	4,3	4	11	9,3	5	10	8,0
L'arche entièrement libre. . . . (à la fin du déchargement).	+2	3	8	5,3	4	6	4,9	2	5	4,0

On a vu que les arcs avaient été calculés de manière à ne pas travailler à plus de 5 kilog. par millimètre carré dans l'hypothèse d'une charge de 400 kilog. uniformément répartie sur toute la surface du tablier.

Cette limite a été considérablement dépassée par suite des conditions dans lesquelles les épreuves ont été faites. Lorsque la moitié d'une arche est seule chargée, la courbe des pressions se relève en effet dans le demi-arc qui supporte la charge d'épreuve, et elle s'abaisse dans l'autre moitié de l'arc. C'est la moitié de l'arc non chargé qui supporte dans ce cas les plus grands efforts, et on a calculé que ces efforts avaient atteint en réalité $8^k,006$ à la compression près de l'intrados, et $1^k,264$ à l'extension près de l'extrados dans l'arche centrale du pont du grand bras.

Ce résultat montre qu'il est essentiel de calculer la résistance des arcs pour toutes les épreuves qu'ils doivent subir. Ces épreuves sont fixées aujourd'hui par la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877.

Épreuves par poids roulant. — Les épreuves par poids roulant ont consisté à faire circuler, puis stationner successivement pendant une demi-heure sur chaque arche, neuf voitures à deux roues attelées de cinq chevaux et pesant chacune 11 tonnes (*).

Les voitures ont été placées sur trois files. Elles sont parties à 8 heures 1/2 du matin de la rive gauche, et elles ont franchi successivement le pont du grand bras puis le pont du petit bras. Le passage sur le pont du grand bras a eu lieu en masse serrée. Les voitures ont été au contraire un peu échelonnées au passage sur le pont du petit bras, par suite de l'arrêt momentané d'une des voitures du deuxième rang sur la chaussée macadamisée de l'île Saint-Louis.

(*) Le poids réel de ces voitures a varié entre un minimum de 10.550 kilog. et un maximum de 11.800 kilog. Il a été en moyenne de 11.083 kilog.

Les neuf voitures ont tourné ensuite sur la rive droite, et elles sont venues stationner pendant une demi-heure sur l'arche unique du petit bras. L'arrivée s'est bien faite, sauf un léger retard et un croisement pour deux des voitures du dernier rang, déterminés par la rupture d'un collier. Le départ n'a rien laissé à désirer.

Les neuf voitures sont venues stationner successivement pendant une demi-heure sur chacune des trois arches du pont du grand bras. L'arrivée et le départ se sont effectués dans de bonnes conditions pour chaque arche. Après le dernier stationnement sur l'arche rive gauche, une partie des voitures a tourné sur place et a traversé une dernière fois le pont : les autres ont continué leur route par le boulevard Saint-Germain.

La piste des chevaux avait été tracée au préalable sur la chaussée des ponts à l'aplomb des fermes n°s 4, 6 et 8, et elle a été suivie régulièrement.

Les ébranlements produits par le passage et le stationnement des voitures ont été constatés au moyen des appareils enregistreurs employés pour les épreuves du pont de Grenelle (*), qui triplent l'amplitude des oscillations.

Ces appareils, au nombre de 4 par arche, ont été placés à l'aplomb des sommets des arcs n°s 4, 5, 6 et 8, et les deux derniers ont été installés dans l'arche rive gauche du grand bras au milieu des poutrelles du tablier correspondant à la clef comprises entre les fermes 4-5 et les fermes 5-6. Ils reposaient sur le bas-port Saint-Bernard pour l'arche rive gauche du grand bras, et sur des palées de charpente établies en rivière pour les autres arches. On les a mis en mouvement un peu avant le commencement de chaque opération et on les a arrêtés un peu après la fin, afin de pouvoir enregistrer tous les résultats sur la même bande de papier.

(*) *Annales des ponts et chaussées*, octobre 1876.

L'un des appareils, celui qui correspondait à l'arc n° 8 de l'arche centrale du pont du grand bras n'a pas pu être utilisé par suite d'un accident. Tous les autres ont bien fonctionné et ont donné des courbes très lisibles.

On a reproduit (Pl. 38, *fig.* 24) le fac-similé de ces courbes dont l'examen accuse les résultats généraux ci-après.

Le premier passage des neuf voitures a déterminé dans les arcs des oscillations dont l'amplitude maximum a varié :

millimètres.				
De 4,7 à 6,3	dans l'arche	rive gauche	} du grand bras.	
De 6,3 à 8,3	id.	centrale . .	} du grand bras.	
De 5,0 à 7,3	id.	rive droite.	} du grand bras.	
De 5,3 à 7,0	id.	du petit bras.		

Le stationnement des neuf voitures sur chaque arche a déterminé un abaissement à la clef qui s'est produit dès l'arrivée et l'arrêt des voitures et que la permanence de la charge pendant une demi-heure n'a pas augmenté sensiblement (de 0 à $0^{mm},5$). Le tassement total constaté après la demi-heure de stationnement avarié :

millimètres.			
De 8,3 à 10,3	dans l'arche	rive gauche	} du grand bras.
De 8,8 à 11,0	id.	centrale . .	} du grand bras.
De 4,7 à 8,5	id.	rive droite	} du grand bras.
De 5,8 à 8,8	id.	du petit bras.	

Si l'on compare enfin la position initiale des arcs à leur position finale, on trouve que les tassements permanents qui ont persisté après les épreuves ont varié :

millimètres.			
De 0,3 à 0,7	dans l'arche	rive gauche	} du grand bras.
De 0,0 à 2,0	id.	centrale . .	} du grand bras.
De 0,3 à 1,5	id.	rive droite.	} du grand bras.
De 0,5 à 1,0	id.	du petit bras.	

On doit noter, en outre, comme faits singuliers : que l'arc n° 4 de l'arche rive droite du grand bras se serait re-

levé de plus de 2 millimètres au-dessus de sa position initiale et que l'arc n° 4 de l'arche centrale aurait éprouvé un tassement supplémentaire de près de 4 millimètres pendant le dernier stationnement des voitures sur l'arche rive gauche. Ce dernier résultat est très invraisemblable : le crayon enregistreur correspondant à cet arc avait crevé la bande de papier pendant l'arrêt de l'appareil ; et il parait probable qu'il s'est déplacé lorsque l'appareil a été remis en marche.

Les deux poutrelles du tablier ont accusé des déformations entièrement comparables à celles des arcs sur lesquels elles reposaient, et elles ne paraissent pas avoir fléchi d'une manière appréciable pendant les épreuves.

Résumé. — En résumé, les piles et les culées des deux ponts n'ont éprouvé aucun mouvement pendant les épreuves.

La partie métallique a parfaitement résisté, et tous les joints, tous les assemblages sont restés intacts.

La charge d'épreuve par poids mort (400 kilog. par mètre carré), a déterminé, après quinze heures de chargement dans les conditions les plus défavorables, un abaissement total à la clef qui a varié de 6 à 24 millimètres et a été en moyenne de 13^{mm},5. Le tassement final, qui a persisté après l'épreuve, a varié de 0 à 15 millimètres et a été en moyenne de 7^{mm},9.

Quant à l'épreuve par poids roulant, l'amplitude maxima des oscillations déterminées à la clef par le premier passage en masse serrée de neuf voitures à deux roues de 11 tonnes placées sur trois files a varié de 4^{mm},7 à 8 millimètres. L'abaissement à la clef, déterminé par le stationnement de ces neuf voitures sur chaque arche pendant une demi-heure, a varié de 4^{mm},7 à 11 millimètres. Après l'épreuve, les arcs sont remontés à 1^{mm},5 près à leur position initiale.

Ces résultats doivent être considérés comme très satisfaisants.

IX. — Poids de la partie métallique. — Dépenses et prix de revient.

Poids de la partie métallique. — Le tableau ci-après donne, pour chaque arche, le poids total, le poids par mètre carré de tablier et le poids proportionnel pour 100 kilog., des principaux éléments de la construction.

	POIDS totaux.	POIDS par mètre carré de tablier.	POIDS proportionnel pour 100 kilog.
PONT DU GRAND BRAS.			
Arche centrale.	kilog.	kilog.	kilog.
Plaques de retombée	13.342,20	13,05	2,34
Arcs	292.088,90	285,67	51,22
Tympans	135.153,40	132,18	23.70
Entretoisement des arcs	27 821,80	27,21	4,88
Entretoisement des tympans	16.453,80	16,09	2.89
Poutrelles du tablier	37.579,20	36,75	6,59
Corniche	31 124,00	30,44	5,46
Parapet	16.638,80	16,27	2.90
Totaux	570.202,10	557,66	100.00
Arche latérale rive gauche.			
Plaques de retombée	13.497,90	14,09	2,63
Arcs	248 873,90	259,71	48,48
Tympans	126.799,90	132,32	24,70
Entretoisement des arcs	28.054,20	29,28	5,46
Entretoisement des tympans	16.230,20	16,94	3,16
Poutrelles du tablier	35.653,00	37,21	6,95
Corniche	28.571,10	29,81	5,57
Parapet	15.656,40	16,34	3,05
Totaux	513 336,60	535,71	100,00
Arche latérale rive droite.			
Plaques de retombée	13.207,20	13,78	2,57
Arcs	248.974,90	259,81	48.41
Tympans	127.114,80	132,65	24,71
Entretoisement des arcs	28.309,80	29,54	5,50
Entretoisement des tympans	16.476,20	17,19	3,20
Poutrelles du tablier	35.991,80	37,56	7,00
Corniche	28.573,10	29,82	5,56
Parapet	15 689,40	16,37	3,05
Totaux	514.337,20	536,72	100,00
PONT DU PETIT BRAS.			
Arche unique.			
Plaques de retombée	13.092,40	15,01	2,91
Arcs	197.795,40	226,77	43.85
Tympans	124 421,50	142,65	27,58
Entretoisement des arcs	23.876,60	27,35	5,29
Entretoisement des tympans	20,094,20	23,04	4,45
Poutrelles du tablier	31.528,00	36,15	6.99
Corniche	26.022,00	29,83	5,77
Parapet	14.252,20	16,34	3,16
Totaux	451.082,30	517,16	100,00

Les poids totaux indiqués ci-dessus se subdivisent d'ailleurs comme l'indique le tableau ci-après :

	PONT DU GRAND BRAS.			PONT du petit bras.
	Arche centrale.	Arche latérale rive gauche	Arche latérale rive droite	
Plaques de retombée.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Fonte	11.265,0	11 334,0	11.185,0	11.156,0
Plomb	564,2	564,2	564,2	564,2
Boulons de scellement	674,8	674,8	674,8	503,2
Cales en acier	838,2	924,9	783,2	869,0
Totaux	13.342,2	13.497,9	13.207,2	13.092,4
Arcs.				
Fonte	288 053,0	245.593,0	245.694,0	195.371,0
Boulons	4.035,9	3.280,9	3.280,9	2.424,4
Totaux	292.088.9	248.873,9	248.974,9	197.795,4
Tympans.				
Fonte	126.732,0	118.466,0	118.931.0	115.578,0
Boulons, cales et guides	3.356,2	3.456,3	3 456,3	3.890,9
Mastic	5.065,2	4.877,6	4.727,5	4.952,6
Totaux	135.153,4	126.799,9	127,114,8	124.421,5
Entretoisement des arcs.				
Fers en U	17.145,0	17.397,8	17.561.4	15.407,8
Platines, équerres et goussets	8.709,8	8.689,4	8.781,4	6.981,8
Boulons et rivets	1.967,0	1.967,0	1.967,0	1.487,0
Totaux	27.821,8	28 054,2	28.309,8	23.876,6
Entretoisement des tympans				
Fers en U	10.885,6	11.119,4	11.275,6	13.793,4
Platines, goussets, rondelles	4.796,6	4.325,2	4.415'0	5.310,0
Cales, boulons et rivets	771,6	785,6	785,6	990,8
Totaux	16.453,8	16.230,2	16.476,2	20.094,2
Poutrelles du tablier.				
Fers double T	30 251,6	28.744,8	28.958,4	25.150,6
Equerres, cornières, bavettes	5.547,4	5 218,4	5.343,6	4.964,8
Boulons, rivets et cales	1 780,2	1.689,8	1.689,8	1.412,6
Totaux	37.579,2	35.653,0	35.991,8	31.528,0
Corniches.				
Fonte	29.280.4	26.614,0	26.907,5	24.663,2
Boulons et cales	568,0	531,3	540,0	420,8
Mastic	1.275,6	1.425,8	1.125,6	938,0
Totaux	31.124,0	28.571,1	28.573,1	26.022,0
Parapets.				
Fonte	16.518,0	15.543,0	15.576,0	14.157,0
Boulons et cales	120,8	113,4	113,4	95,2
Totaux	16.638,8	15.656,4	15.689,4	14.252,2

En réunissant les matériaux de même nature, on forme le tableau suivant :

	PONT DU GRAND BRAS.			PONT du petit bras.
	Arche centrale.	Arche latérale rive gauche.	Arche latérale rive droite.	
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Fonte.	471.848,4	417.550,0	418.293,5	360.925,2
Fers de toute espèce. . . .	90.610,5	87.994,1	88.843,2	82.833,3
Cales en acier.	838,2	924,9	783,2	869,0
Mastic.	6.340,8	6.303,4	5.853,1	5.890,6
Plomb.	564,2	564,2	564,2	564,2
Totaux.	570.202,1	513.336,6	514.337,2	451.082,3

Le poids du mètre courant de corniche est de 300 kil. en chiffre rond et celui du mètre courant de parapet de 163k,50.

Dépenses, prix de revient. — La dépense du pont du grand bras s'est élevée à la somme totale de 1.198.067f,09, qui se décompose comme suit :

Ouvrages en maçonnerie.

	francs	francs
Entreprise.	449.810,38	515.620,31
Régie (*).	65.809,93	

Partie métallique.

Entreprise.	677.597,73	682.446,78
Régie.	4.849,05	
Total égal.		1.198.067,09

(*) Cette somme se subdivise comme suit :

	PONT du grand bras.	PONT du petit bras.
	francs.	francs.
Fourniture de pavés.	31.470,72	18.466,75
Épuisements.	1.970,80	18.729,90
Surveillance et dépenses diverses.	32.368,41	29.769,30
Totaux.	65.809,93	66.965,95

La dépense du pont du petit bras s'est élevée à la somme totale de 673.783f,80 qui se décompose comme suit :

Ouvrages en maçonnerie.

	francs	francs
Entreprise.	413.695,98	480.661,93
Régie (*).	66.965,95	

Partie métallique.

Entreprise.	191.749,67	193.121,87
Régie.	1.372,20	
Total égal.		673.783,80

Le prix de revient des ponts par mètre carré de projection horizontale entre les parements des culées est par suite de :

395f,06 pour le pont du grand bras,
384 ,47 id. du petit bras.

Le prix de revient de la partie métallique seule, par mètre carré de tablier, est de :

232f,20 pour le pont du grand bras,
221 ,40 pour le pont du petit bras.

On peut admettre que la dépense de la partie métallique du pont du grand bras se répartit à très peu près entre l'arche centrale et les arches latérales proportionnellement aux poids totaux de ces arches et l'on trouve ainsi que le prix de revient serait de :

238f,20 pour l'arche centrale,
229 ,60 pour une arche latérale.

Le prix de revient de la chaussée (voûtes en briques, béton, chapes, pavages et trottoirs) par mètre carré de tablier est de 34f,45.

(*) Voir la note de la page 540.

Le prix de revient des arches métalliques complètes, abstraction faite des piles et culées, par mètre carré de tablier, est, en conséquence, de:

266f,65	en moyenne	au pont du grand bras,
272 ,65	pour l'arche centrale. .	
263 ,45	pour une arche latérale.	
255 ,65	pour l'arche du petit bras.	

X. — Conclusions.

Un pont en fonte ne peut pas être exécuté avec une précision mathématique.

Il faut compter avec les irrégularités de la fabrication et du montage, avec les déformations que les arcs éprouvent par l'effet de la charge permanente et des variations de température, avec les tassements des piles et culées et enfin avec les erreurs d'implantation des maçonneries.

Aussi convient-il de rédiger le projet et de diriger les travaux de manière à pouvoir faire, en cours d'exécution, les corrections nécessaires.

Deux points surtout doivent appeler l'attention: ce sont le règlement des corniches, d'où dépend le bon aspect du pont, et l'entretoisement des fermes.

Les longueurs réelles des pièces d'entretoisement diffèrent toujours un peu des longueurs théoriques, et il est essentiel de réserver certains assemblages à faire sur place en prévision de ces différences. Les assemblages doivent d'ailleurs être disposés de manière à faciliter la pose et le démontage ultérieur en cas de réparation. Il importe enfin de se réserver le moyen de les régler. C'est là une précaution qui n'est pas usitée et qui n'a pas été prise aux ponts Sully. Elle semble cependant utile. Les pièces d'entretoisement sont en effet placées et fixées avant que la charge permanente ne soit complète et, comme les arcs se déforment et tassent d'une manière inégale sous l'action de cette

charge, elles se trouvent inévitablement soumises à des efforts non prévus et par suite dangereux, si les assemblages sont arrêtés dès l'origine d'une manière invariable.

Quant aux corniches, il convient de poser en même temps les corniches en pierre des piles et culées et les corniches en fonte des arches métalliques, d'en régler le profil définitif d'après les relevés faits sur place le plus tard possible quand la charge permanente est à peu près complète et de réserver, pour être fondus et posés après coup, les panneaux de raccordement avec les corniches en pierre.

Ce n'est, à notre avis, qu'en deuxième fusion et par un mélange convenable de fontes de natures différentes que l'on peut être certain d'obtenir exactement et d'une manière régulière la qualité de fonte dont on a besoin. Il est donc nécessaire de prescrire l'emploi de la fonte de deuxième fusion, bien qu'elle coûte plus cher que la fonte de première fusion.

Le moulage en sable vert a donné, pour les ponts Sully, des résultats acceptables, mais qui n'étaient pas entièrement satisfaisants. Il convient, suivant nous, de proscrire ce mode de moulage qui présente de nombreux inconvénients, d'imposer le moulage au sable d'étuve comme règle générale et de n'admettre le moulage en sable flambé ou séché qu'à titre d'exception.

Nous regardons enfin comme indispensable de faire surveiller avec soin la fabrication des fontes et le montage à plat des fermes dans les usines.

Paris, le 14 juin 1880.

N° 71

NOTE

SUR

LES RACCORDEMENTS DES COURBES

AVEC LES ALIGNEMENTS DROITS

DANS LE TRACÉ DES CHEMINS DE FER

Par M. CH. DUPUY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le devis et cahier des charges arrêté par l'Administration à la date du 15 septembre 1879 pour être joint aux projets d'exécution des chemins de fer, porte, article 3 :

« Les courbes de raccordement seront des arcs de cercle « se raccordant avec les alignements, aux distances de « leurs points de rencontre qui sont portées dans la der- « nière colonne du tableau précédent. Toutefois, pour les « courbes d'un rayon égal ou inférieur à 1.000 mètres, on « intercalera une courbe parabolique entre l'alignement « droit et l'arc de cercle, de telle sorte que le surhausse- « ment du rail soit toujours en rapport avec le rayon de « courbure. »

Depuis 1876, les raccordements paraboliques ont été appliqués par la compagnie d'Orléans sur ses lignes en construction et il n'est pas sans intérêt de faire connaître à la suite de quelles circonstances cette résolution a été prise.

M. le directeur des travaux, pendant un voyage en Angleterre, parcourut la petite ligne de Festiniog, dont il a été si souvent parlé depuis quelques années; il fut frappé du peu de gêne qu'éprouvait le voyageur, en passant, avec

des vitesses de 40 kilomètres à l'heure, d'alignements droits à des courbes de 40 mètres de rayon. Il apprit que ce résultat satisfaisant était dû aux raccordements paraboliques et, dès sa rentrée en France, il prescrivait d'introduire des raccordements analogues dans le tracé des lignes en construction.

Une instruction du 31 juillet 1876, mise entre les mains des agents de la construction, a suffi pour permettre au personnel de tracer, sans difficultés, les raccordements paraboliques et de rectifier la position des ouvrages dans ces raccordements.

Les lignes d'intérêt local du département de la Sarthe, les chemins de Nantes à Châteaubriant et de Bergerac au Buisson, formant ensemble une longueur de 192 kilomètres, sont construits dans ce système, et l'on a constaté, notamment sur la ligne de Pont-de-Braye à Saint-Calais, où l'on rencontre une succession de courbes de 400 mètres de rayon, qu'avec la vitesse de 60 kilomètres à l'heure, le voyageur s'apercevait à peine du passage des courbes aux alignements droits et réciproquement.

La courbe de raccordement est celle que M. Norling a analysée en 1867 dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 2e semestre, page 312 et suivantes; seulement on a réduit à 2 millimètres par mètre la pente destinée à racheter le devers.

M. Combier a publié en 1869 (*Annales des Ponts et Chaussées*, 2e semestre, page 148 et suivantes) une note sur le même objet; mais la courbe de M. Combier, excellente pour la rectification du tracé des lignes exploitées, n'a pas d'intérêt lorsqu'il s'agit des chemins en construction, comme il le déclare lui-même, page 148; il dit en effet :

« La solution (solution de M. Nordling) peut être consi-
« dérée comme parfaite lorsqu'il s'agit de voies nouvelles
« en construction. »

La courbe parabolique de M. Nordling semble ne pas

pouvoir être discutée, ni au point de vue théorique, ni au point de vue pratique.

En effet, tous les ingénieurs sont d'accord pour surhausser le rail extérieur dans les courbes, afin de combattre l'effet de la force centrifuge, et le surhaussement pour la courbe de 300 mètres de rayon est 0,15, si l'on adopte la formule de la compagnie d'Orléans $e' = \frac{45}{R}$.

Le surhaussement ne pouvant pas avoir lieu brusquement, il est nécessaire de relever le rail graduellement.

Si l'on rachète la différence de niveau avant l'entrée en courbe, on a dans un alignement droit les deux rails à des niveaux qui atteignent 0,15 près de la courbe de 300 mèt. Il est bien certain, que si en voie courante un devers aussi considérable se produisait, on s'empresserait de placer aux abords des signaux de ralentissement.

Si au contraire on rachète la différence de niveau après l'origine de la courbe, le train parcourt un certain espace dans des conditions défectueuses qui, si elles se présentaient en pleine voie dans une courbe de même rayon, motiveraient certainement des mesures de précaution.

En partageant la différence de niveau entre l'alignement droit et la courbe, on atténue les inconvénients, mais on ne les fait pas disparaître.

L'introduction entre l'alignement droit et le cercle, d'une courbe parabolique dont le rayon de courbure est dans tous les points en rapport avec le surhaussement du rail, semble résoudre parfaitement la question.

La courbe de M. Nordling a pour équation :

$$y = mx^3.$$

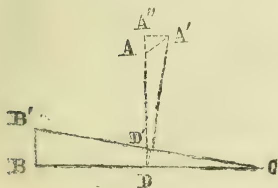
m est déterminé de telle sorte qu'en un point quelconque le surhaussement e soit en rapport avec le rayon de courbure ρ, c'est-à-dire que l'on a partout $e = \frac{45}{\rho}$.

La courbe est d'ailleurs tangente à l'alignement droit et au cercle. Au point de tangence avec l'alignement droit, son rayon de courbure est infini; au point de tangence avec le cercle, le rayon de courbure est égal au rayon du cercle.

La solution semble donc parfaite; cependant dans un article publié par la *Revue des chemins de fer*, novembre 1879, page 410, M. Michel conteste l'importance du raccordement parabolique, en introduisant dans la question un élément nouveau.

Considérons un point A placé au-dessus d'un essieu à une distance AD de la ligne qui joint les points C et B sur lesquels s'appuient les roues solidaires avec l'essieu; si l'on suppose la roue D relevée en B′, le point A viendra en A′, et l'on aura à peu près exactement :

Fig. 1.



$$A A'' = BB' \frac{AD}{BC}.$$

La courbe cherchée par M. Michel a pour objet, non seulement d'établir le rapport entre le surhaussement et le rayon de courbure, mais en outre de ramener le point A′ sur la verticale passant par le point A.

Cette courbe a pour équation :

$$y = mx^3 - nx. \qquad (1)$$

Celle de M. Nordling a pour équation :

$$y = mx^3. \qquad (2)$$

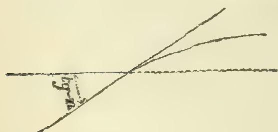
La valeur de m est la même dans les deux cas :

Les deux courbes ont leur origine au même point sur l'alignement droit, leur extrémité correspond à la même valeur de x, et elles se raccordent à deux cercles concen-

triques, ayant à très peu près le même rayon. Au point de tangence avec l'alignemant droit, les rayons de courbure sont infinis dans les deux cas ; au raccordement avec le cercle, ils ont la même valeur égale au rayon du cercle.

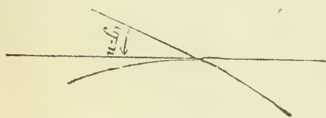
Mais tandis que la courbe de M. Nordling est tangente à l'alignement droit à l'origine, celle de M. Michel fait avec cet alignement un angle dont la tangente trigonométrique est — *n*. C'est-à-dire que la courbe (1) ne se raccorde pas avec l'alignement droit et fait avec lui un angle comme l'indique la *fig.* 2.

Fig. 2.



Au point de tangence avec le cercle, on voit que si la courbe de M. Nordling est tangente au cercle, celle de M. Michel se raccordera avec le cercle sous un angle dont la tangente trigonométrique sera également — *n* (*fig.* 3).

Fig. 3.



La courbe de M. Michel n'est donc autre chose que la courbe de M. Nordling, seulement on l'a fait pivoter autour de son origine et, au lieu d'être tangente avec l'alignement droit, elle fait avec lui un angle rejetant le train en sens contraire du mouvement qu'il doit prendre un peu plus loin.

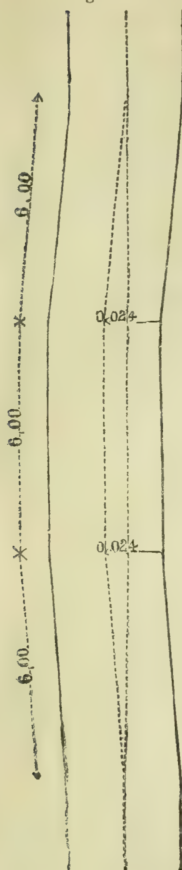
M. Michel ne s'est pas fait d'illusion sur sa courbe théorique, il a parfaitement reconnu qu'elle formait un angle avec l'alignement droit, mais il ajoute :

« Le changement brusque de direction n'est pas admis-
« sible en pratique, à moins toutefois qu'il ne dépasse pas
« les angles que font deux rails consécutifs dans une
« courbe. »

Et il démontre que la valeur de *n* ne dépasse pas 0,004, ce qui correspond à l'angle formé par deux rails de 6 mèt. se succédant dans une courbe de 1.500 mètres de rayon.

Il est bien certain que les déplacements brusques qui théoriquement se produisent dans une courbe de 1.500 mètres de rayon par le fait de la substitution à la circonférence d'un polygone, inscrit de 6 mètres de côté, n'ont pas d'intérêt au point de vue pratique, parce que les roues suivent la courbe et non le polygone; mais nous sommes convaincus que si dans un alignement droit un ingénieur rencontrait un passage ayant la disposition ci-contre, bien que l'écart ne soit que de 0,024, il s'empresserait de placer aux abords des signaux de ralentissement et se hâterait de procéder au ripage.

Fig. 4.



Du reste, M. Michel ne propose pas d'adopter sa courbe théorique; comme elle s'écarte au plus de 0,0268 de l'alignement droit et du cercle, il conclut à la suppression du raccordement parabolique, ce qui revient à dire : 1° il n'y a pas d'inconvénient à avoir dans un alignement droit un rail plus haut que l'autre de 7 à 8 centimètres; 2° il n'y a pas d'inconvénient à réduire de 7 à 8 centimètres le devers normal dans une courbe de 300 mètres de rayon.

Ces conclusions nous paraissent absolument contraires aux règles de la pratique et elles suffisent, à notre avis, pour invalider la théorie de M. Michel.

Nous ne prétendons pas que l'absence de raccordement parabolique augmente notablement les chances de déraillement; l'expérience semble prouver que ces passages dans des conditions incontestablement anormales n'offrent pas de dangers sérieux, mais les raccordements paraboliques ont

certainement pour effet de supprimer la gêne qu'éprouve le voyageur en réagissant d'abord dans l'alignement droit contre l'action résultant du devers et ensuite dans la courbe contre l'action de sens contraire produite par la force centrifuge insuffisamment combattue par le devers.

Il n'y a donc aucun motif pour ne pas adopter le raccordement parabolique de M. Nordling au moins dans les lignes nouvelles où ce résultat peut être obteuu sans aucune difficulté.

Il est facile de se rendre compte de l'action produite par le déplacement horizontal du point A et de montrer que ses effets sont à peu près nuls.

Considérons une voie en ligne droite et supposons que l'un des rails restant horizontal, l'autre s'élève avec une pente i par mètre.

Lorsque l'essieu se sera avancé sur la pente d'une longueur x, le surhaussement de la roue sera ix et le point A (*fig.* 1) sera déplacé d'une distance

$$y = ix\frac{\mathrm{AD}}{\mathrm{BC}}. \qquad (3)$$

Supposons AD = 1,50, ce qui correspond à peu près au centre de gravité d'un voyageur assis sur une banquette et remarquons que BC, écartement de la voie, est égal à 1,50, l'égalité (3) deviendra

$$y = ix.$$

Cette égalité montre qu'en projection horizontale le point A placé verticalement au-dessus de l'essieu éprouvera un mouvement brusque de rotation au moment où cet essieu atteindra la pente, puis il suivra une ligne droite formant avec la direction primitive un angle dont la tangente trigonométrique est i. L'angle de rotation aura d'ailleurs pour tangente trigonométrique i.

La gêne qu'éprouvera le voyageur se réduira donc au mouvement de rotation, et, si l'on fait $i = 0{,}002$, comme

on l'admet à la compagnie d'Orléans, cette gêne sera tout à fait insignifiante.

Dans son mémoire de 1867, page 316, M. Nordling parle de 1 centimètre par mètre pour les pentes de raccordement. Ce chiffre est certainement très exagéré, non seulement à cause de la gêne que peut éprouver le voyageur, mais à cause des efforts de torsion qu'elle fait subir aux véhicules. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que le centre de gravité de la charge s'élève de la moitié du surhaussement du rail et qu'avec une pente de raccordement de 0,001 on accroît la pente réelle du chemin de 0,005, à moins qu'on n'abaisse un rail en même temps qu'on relève l'autre ; mais cette solution est contraire à l'usage, parce qu'elle conduit à réduire la hauteur du ballast sous la traverse ou à donner à la plate-forme du terrassement une inclinaison égale à celle du devers.

En résumé, nous croyons qu'il y a un intérêt très réel à adopter dans les chemins nouveaux, où l'on emploie des courbes à faible rayon, le raccordement parabolique de M. Nordling, sauf à réduire à 0,002 par mètre la pente de raccordement.

Nous ne suivrons pas M. Michel dans ses considérations relatives aux alignements à ménager entre deux courbes successives de sens contraire.

Le tableau n° 1 de l'Instruction du 31 juillet 1876 montre que, pour la courbe de 300 mètres, la distance *a* entre l'origine de la courbe de raccordement et le point de tangence de l'alignement droit et du cercle est de $37^{m},50$; par suite, entre deux courbes de 300 mètres de rayon, il convient de ménager un alignement droit de 75 mètres au moins. Pour des courbes de 500 mètres, l'alignement pourrait être réduit à 45 mètres, et, pour des courbes de 1.000 mètres, à $22^{m},50$; il y aurait, croyons-nous, grand intérêt à ne pas fixer une longueur minimum constante pour l'alignement à intercaler entre deux courbes successives de sens inverse,

parce que bien souvent on pourrait, en diminuant la longueur de l'alignement, accroître le rayon des courbes : or, il y a intérêt, au point de vue de la sécurité et de l'entretien, à avoir des rayons aussi grands que possible.

Poitiers, le 31 juillet 1880.

N° 72

NOTE

SUR

L'EMPLOI DU CHLORURE DE SODIUM

POUR

LE DÉGLAÇAGE DES VOIES PUBLIQUES

EN TEMPS DE GELÉE

Par M. P. D'USSEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le mois de décembre 1879 a été une époque particulièrement difficile à traverser pour les services chargés de maintenir la circulation dans les rues de Paris. Il y est tombé, dans les premiers jours de décembre, de $0^m,25$ à $0^m,35$ de neige; et le dégel, au lieu d'arriver dans la huitaine, comme d'ordinaire, s'est fait attendre un mois.

Le mieux est certes, quand la neige tombe, de l'enlever au plus vite, au moyen de racloirs, de balayeuses ou de chasse-neige, et de ne pas en laisser trace, s'il est possible, sur le sol. Mais à Paris le nettoiement de toutes les rues ne peut être instantané. La neige à peine tombée est aussitôt foulée par des centaines de voitures. Or, la neige foulée et gelée devient inattaquable à tout autre outil que la pioche, et ce procédé est aussi lent que dispendieux.

La gelée et la circulation agissant immédiatement après la chute de la neige, ont fait que les rues de Paris ont été presque toutes recouvertes, en décembre dernier, d'une couche de glace dont l'épaisseur variait suivant la quantité enlevée au premier moment. Certaines rues, même importantes, avaient conservé un manteau de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'é-

paisseur. Dans ces dernières, le piétinement des chevaux déterminait la formation d'ondulations ayant plusieurs centimètres de flèche. Il ne suffisait pas d'écrêter les bosses, en enlevant seulement la glace ainsi déblayée : les ondulations se reformaient tant qu'il restait de la glace. Il fallait avec la pioche aller tout à fait au vif. Unie ou ondulée, la surface était fort glissante. La circulation ne pouvait être maintenue qu'au prix de sablages réitérés. Le sable, un instant efficace, ne tardait pas à pénétrer dans la croûte, et il fallait bientôt recommencer. En divers points, les accès des carrières de sable étaient difficiles, les transports se faisaient mal et le sable manquait. Ainsi en était-il dans l'étendue de notre service, composé des XVIIe et XVIIIe arrondissements.

Nous avons, dans ces circonstances, appliqué en grand un procédé connu et employé parfois dans les villes maritimes : la salaison des chaussées. Nous avons traité au sel 175.000 mètres carrés de voie ; la dépense a été de 25.000 kilogrammes de cette substance. Le résultat a été excellent.

Le chlorure de sodium, le sel ordinaire, mêlé à la glace, la fond très-vite en produisant un mélange réfrigérant, visqueux et ingelable tant que la température ambiante ne s'abaisse pas au-dessous de celle du mélange. Une partie de sel et deux parties de neige donnent un mélange dont la température est — 21°. C'est le minimum que l'on puisse obtenir. Cette température est également celle de congélation d'une solution saturée de sel marin. En vertu de ces données, si l'on répand du sel sur la croûte glacée des chaussées, on produit un dégel artificiel, la glace se change en boue noirâtre, demi-liquide, ingelable, qui s'étend sur la surface des voies où il n'est plus désormais besoin de répandre du sable.

La boue réfrigérante est d'autant plus épaisse que la croûte réduite était primitivement plus forte. Quand cette

boue est en trop grande quantité, elle devient, comme toutes les boues, tirante pour les roues, quoique assez commode aux chevaux ; il faut alors, dans les chaussées dont le traitement est soigné, l'enlever soit au racloir, soit à la balayeuse armée de brins métalliques, quelques heures après sa production. S'il y a peu de boue, il vaut mieux la laisser quatre ou cinq jours en place : elle gêne peu, ne gèle pas, et sert de garantie contre la gelée.

Le répandage du sel est une opération très facile. On le fait à la pelle. Une brouette chargée de sel chemine devant un ouvrier qui répand le sel comme le sable. Il n'est pas indispensable que le répandage soit régulier, parce que les pieds des chevaux et les jantes des roues transportent d'un point à un autre la matière saline. Mais il est très nécessaire, pour une action rapide, que la voie soit fréquentée, parce que ces agents de compression font pénétrer le sel dans la croûte de glace, triturent la masse dès qu'elle se ramollit, multiplient les contacts et amènent la fusion complète. La circulation qui est un obstacle au déblaiement de la neige par les moyens mécaniques, devient un puissant auxiliaire à sa réduction par ce moyen chimique. Deux heures après le répandage, dans les voies à grande circulation, la couche de glace est habituellement transformée en boue.

La quantité de sel à répandre dépend de l'épaisseur de la couche à réduire et du degré de fluidité que l'on veut donner à la boue, fluidité dont dépendent son enlèvement, son action sur le roulage et sa résistance à la congélation ultérieure.

Une couche de neige ramenée par la circulation et la gelée à former une couche de $0^m,04$ à $0^m,05$ de glace, est très bien réduite, par un répandage de sel, à la dose de 200 grammes par mètre carré. Les couches de glace de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur doivent être attaquées en deux fois : un premier répandage fait immédiatement cesser le

glissement, disparaître les ondulations, transforme la partie supérieure en boue réfrigérante et ramollit la partie inférieure. On enlève le dessus et l'on attaque le dessous par un second répandage. Dans les voies où avait été exécuté un piquage à vif par la pioche, pour dissoudre les petites crêtes de glace restées encore adhérentes à la surface et la garantir contre la gelée pendant plusieurs jours, il nous a suffi de saler à raison de 100 grammes par mètre carré.

L'expérience des quantités à répandre s'acquiert aisément. Les agents chargés de l'emploi du sel deviennent très vite partisans d'une méthode aussi expéditive et qui coûte si peu de travail. Ils arrivent à connaître, au vu d'une chaussée, ce qu'il faut y mettre de sel.

Les compagnies de tramways ont aussi, à côté de nous, beaucoup employé de sel. Répandu à faible dose dans le creux des rails, ce sel étend son action sur la zone avoisi-sinant le rail, y maintient une boue liquide aisément expulsée du rail par le boudin des roues dirigeantes. Sans cet ingrédient, les compagnies de tramways auraient été obligées, en décembre dernier, de suspendre leur service; elles lui doivent de l'avoir continué. L'emploi du sel est aujourd'hui passé dans leurs habitudes; et elles viennent, comme la ville de Paris, d'obtenir du gouvernement franchise des droits fiscaux qui grèvent cette matière.

Il y a certainement, par les très basses températures, une limite inférieure à l'action du sel. La température minima du mélange réfrigérant est — 21°, comme il a été dit ci-dessus, pour une proportion de sel très supérieure à celle que nous introduisons dans la croûte de glace. Nous avons toujours répandu le sel de jour, et le sel a constamment agi. Le jour il y a répit dans la rigueur du froid, puis la circulation aide. Pendant la nuit, au contraire, la diminution de circulation rend, quelle que soit la température, l'action fort lente. Vers les températures de — 10° à — 12°, nous avons remarqué que la boue réfrigérante,

quand elle avait été laissée sur le sol, devenait moins liquide, plus compacte pour reprendre, avec une élévation de quelques degrés, sa fluidité constitutionnelle. Par les très grands froids, il conviendrait sans doute d'augmenter la quantité de sel.

Le commerce offre des sels de diverses qualités. Il y a d'abord les sels purs : d'abord le sel de cuisine raffiné, légèrement hydraté : puis le sel dit égrugé, anhydre : les sels dénaturés par le simple mélange de 10 p. 100 d'absinthe, de peroxyde de fer ou de tourteau ; ce sont les sels de l'agriculture : enfin les sels dits de coussin, qui ont servi aux salaisons de poissons, et ceux qui ont été employés dans les tanneries à la préparation ou à la conservation des peaux.

Nous n'avons employé, pendant la crise de décembre, que du sel raffiné, parce que c'est le seul que Paris renferme en grande quantité, et qu'il consomme pour ses besoins, alors que les chemins de fer ne pouvaient nous livrer à temps les autres. A titre d'essai, et sur de petites quantités, nous les avons presque tous expérimentés. Tous les sels agissent : il faut faire une réserve surtout au sujet des sels de salaison ou de tannerie ; ils agissent moins vite, car ils sont souvent restés gras à la suite de leur premier emploi, et la pellicule grasse isole le grain. Il faudrait même rejeter ceux de cette espèce qui seraient par trop gras. En tous cas, ces sels ont un inconvénient : ils sentent mauvais et infectent les lieux de dépôt. Le sel dit égrugé nous paraît très bon.

Le sel raffiné, le seul qui fut à notre portée et que l'administration des finances n'avait pas encore consenti à dégrever en notre faveur, vaut 22 francs les 100 kilog. à Paris, bien que profitant de la situation, certains fournisseurs nous l'aient fait payer 24 francs. Sur ces 22 francs, il y a 10 francs de droits pour l'État et 6 francs d'octroi pour la ville, en tout 16 francs de dépense pour le fisc et 6 francs pour la ma-

tière. Le sel égrugé ne coûterait que 3 francs les 100 kilog., droits déduits.

Même avec ce prix de 22 francs, la dépense de la salaison n'est pas plus élevée que celle de multiples sablages ; si nous admettons que 200 grammes par mètre carré réduisent une couche de $0^{m},03$ à $0^{m},04$ environ d'épaisseur, le sel revient à $0^{f},044$ par mètre carré, et pour ce prix la croûte est fondue, et la surface garantie contre la gelée pendant quatre ou cinq jours. Il faudrait à Paris, pendant le même temps, sur des voies déjà assez bien nettoyées, répandre en plusieurs fois, pour assurer une bonne viabilité, une épaisseur de $0^{m},01$ de sable, qui, à $4^{f},50$ le mètre cube, coûterait $0^{f},045$, c'est-à-dire le même prix comme matière ; mais la main-d'œuvre de répandage du sel, estimée $0^{f},001$ par mètre carré, est huit fois moindre que celle des sablages multiples, nécessaires pour répandre pendant quatre ou cinq jours, les $0^{m3},01$ de sable par mètre carré ; cette main-d'œuvre revient à $0^{f},008$ environ. Dans ces conditions, la salaison, matière et main-d'œuvre, revient à $0^{f},044 + 0^{f},001 = 0^{f},045$, le sablage à $0^{f},045 + 0^{f},008 = 0^{f},053$ par mètre carré. Il y a donc économie en faveur de l'emploi du sel, économie de $0^{f},008$ par mètre carré. Si l'on fait entrer en ligne de compte le raclage de la boue réfrigérante et le brossage soigné de la chaussée, mains-d'œuvre dont la dépense s'élève à $0^{f},006$ par mètre carré, et qui ne sont pas généralement nécessaires partout, l'économie, bien que très diminuée, est encore en faveur du sel. Enfin, si l'on suppose le dégrèvement des droits et la réduction du prix du sel de 22 francs les 100 kilog. à 3 francs, c'est-à-dire, par mètre carré, de $0^{f},044$ à $0^{f},006$, on voit que la salaison coûterait $0^{f},007$, les sablages coûtant $0^{f},053$, c'est-à-dire huit fois plus cher.

Le chlorure de calcium, sel non sujet aux droits, et produisant avec la neige, comme le chlorure de sodium, un mélange réfrigérant, ne saurait être employé dans les rues.

Ce sel, tel que les fabriques le livrent actuellement au commerce, conserve une réaction acide, et la boue résultante tache les vêtements.

En résumé, le chlorure de sodium est une substance capable de rendre, en temps de gelée, les plus grands services. Son emploi n'est pas seulement un procédé de laboratoire ; il est susceptible d'application pratique et de généralisation. Dans les grandes villes, sur les voies très fréquentées, en forte rampe, aux abords des ports, des gares, des ponts, partout où une circulation importante doit être maintenue en temps de gelée, le sel peut être fort utile. C'est un agent d'une action rapide, énergique et persistante.

Notre but, en publiant la présente note, n'est pas de faire connaître un procédé dont beaucoup d'ingénieurs ont entendu parler, car il n'est pas nouveau. Il n'est pas non plus de formuler des règles précises pour son emploi, car nous ne donnons ci-dessus que des indications générales. Il est surtout d'engager tous ceux qui, par la nature de leurs fonctions, ont charge d'assurer pendant l'hiver, sur de grandes voies, des circulations très importantes, à essayer d'une substance dont nous ne soupçonnions pas nous-mêmes au début l'efficacité. L'expérience personnelle peut seule convaincre, et l'essai peut être fait à bien peu de frais.

Nous ne doutons pas que l'État n'accorde aux municipalités, et aux divers services des travaux publics qui le demanderaient, un dégrèvement de droits qu'il n'a pas cru devoir refuser à la ville de Paris et aux compagnies de tramways. Rendu ainsi économique, l'emploi du chlorure de sodium pourrait se généraliser en temps de gelée persistante, et rendre dans certains cas de véritables services.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Décembre 1880.

N° 73

NOTE

SUR

LES TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT DE MEMPHIS

(TENNESSEE — [ÉTATS-UNIS])

Par M. LAVOINNE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La question aujourd'hui à l'ordre du jour de la mise en communication des égouts avec les fosses d'aisance donne un certain intérêt à la connaissance du procédé par lequel elle a été résolue dans les travaux d'assainissement tout récents de la ville de Memphis (Tennessee — États-Unis).

La ville de Memphis, située sur la rive gauche du Mississipi, en aval de l'embouchure du Wolf-River, est le centre commercial le plus important entre Saint-Louis et la Nouvelle-Orléans. Elle comptait, en 1876, 40.000 habitants. Bâtie sur le versant d'une colline (*bluff*), qui va en s'abaissant du sud au nord, elle se développe parallèlement au cours du Mississipi sur 4 kilomètres. Le quartier le plus populeux et le plus commerçant occupe l'intervalle compris entre la berge du fleuve et un faux bras dit *bayou Gayoso*, où les eaux sont habituellement stagnantes, et qui reçoit toutes les eaux d'égout de la ville. Ce quartier, où le sol est au plus élevé de $10^{m},50$ au-dessus des basses eaux du Mississipi, est partiellement inondé par les grandes crues de ce fleuve; sur la rive opposée du

bayou, le terrain se relève, et il atteint une altitude de 27 mètres au-dessus des basses eaux dans la partie sud de la ville, où la population est beaucoup moins agglomérée.

Dans les conditions que l'on vient de décrire, il n'est pas étonnant que l'état sanitaire de la ville de Memphis ait été presque constamment des plus mauvais. On y a compté en cinquante ans 22 épidémies ; une dernière épidémie de fièvre jaune, survenue en 1878, y a fait plus de 4.000 victimes. Abandonnée par le plus grand nombre de ses habitants, il a été un moment question de la faire complètement disparaître. Des souscriptions avaient commencé à s'organiser en 1879 pour en acheter le sol, y détruire complètement les maisons et supprimer ainsi un foyer de contagion menaçant constamment toute la vallée du Mississipi.

La Commission nationale d'hygiène et de salubrité des États-Unis (*National Board of Health*), appelée à donner son avis sur cette situation, a nommé un comité chargé de faire une étude complète des moyens d'y porter remède. Ce comité, qui s'était adjoint deux ingénieurs, le major W. H. H. Benyaurd, du corps des ingénieurs militaires, et M. G. E. Waring, ingénieur spécial pour les questions d'assainissement, après une visite minutieuse de toutes les maisons dans les divers quartiers de la ville, a arrêté pour son assainissement un programme complet pouvant se résumer ainsi qu'il suit (*) :

1° Aération aussi énergique que possible, pendant l'hiver, de toutes les maisons ; — destruction par le feu de tous les articles de vêtement et d'ameublement infectés ; — démolition de cinq cents maisons considérées comme non susceptibles d'assainissement ; — reconstruction partielle d'autres maisons, et défense d'en construire de nouvelles qui ne satisferaient pas à toutes les prescriptions de l'hygiène ;

2° Substitution de l'eau du Mississipi, pour l'alimentation de la ville, aux eaux provenant soit de puits ou de citernes, soit de la rivière Wolf ;

3° Changement radical des dispositions en usage pour la construction des lieux d'aisances et pour l'évacuation des matières et des détritus ;

4° Établissement d'un double système d'égouts et de drainage et dessèchement du bayou Gayoso.

L'exécution de programme devait imposer de lourdes charges

(*) M. Waring a bien voulu nous fournir les renseignements qui ont servi de base à la rédaction de cette Note.

aux finances de la ville de Memphis, appauvrie par plusieurs années de mauvaise administration et éprouvée par deux épidémies consécutives de fièvre jaune. Néanmoins, la nécessité d'une transformation radicale de la ville s'imposait tellement à tous les esprits que l'administration municipale, après avoir fait dresser le projet détaillé de tous les travaux à exécuter, se mit résolument à l'œuvre. On avait prévu tout d'abord que la dépense pourrait s'élever jusqu'à 15 millions de francs; mais elle a pu être notablement diminuée par suite de l'adoption du système proposé par M. Waring pour l'ensemble des travaux de canalisation, de drainage et de dessèchement, réduit dans son évaluation à la somme 1.142.500 francs seulement.

Les bases de ce système avaient été précédemment exposées par son auteur, dans un meeting, tenu par la Société américaine d'hygiène publique (*American public health association*) à Nashville, capitale du Tennessee. Ce système peut se résumer ainsi qu'il suit :

1° Emploi pour la construction des égouts de conduites de petit diamètre, uniquement affectées à l'évacuation des eaux vannes et des matières fécales, à l'exclusion des eaux de pluie;

2° Ventilation obtenue dans les égouts et dans les branchements en communication avec les maisons particulières par un grand nombre de prises d'air et de cheminées s'élevant au-dessus des toits;

3° Communication directe de chaque branchement particulier avec l'égout, sans interposition d'aucun diaphragme, ni d'aucune fermeture hydraulique;

4° Lavage journalier des égouts, au moyen de chasses pour lesquelles on utilise l'eau accumulée dans des réservoirs placés à leur origine d'amont.

Soustraire les rues, comme les maisons, aux émanations que provoquent à certains moments l'affluence des eaux d'orage dans les égouts et les variations de température; — prévenir les dépôts qui tendent à se former, en établissant une meilleure proportion entre le débit maximum journalier des égouts et leur section, eu égard à leur pente; — rendre la ventilation plus facile et plus active, en réduisant le volume des masses gazeuses à mettre en mouvement et leur ouvrant de très nombreuses issues; — évacuer enfin toutes les matières entraînées, sans leur laisser le temps de se décomposer, et entretenir les égouts dans un état permanent de propreté : tel est le but multiple poursuivi dans l'établissement de ce nouveau système d'égouts.

Lorsque les égouts doivent être complétés par le drainage du

sous-sol, il est pourvu à l'écoulement des eaux amenées par les drains au moyen d'émissaires spéciaux placés autant que possible en contre-haut des égouts et sans aucune communication avec eux, de manière à éviter complètement les infiltrations des eaux d'égout dans le sol drainé.

Quant aux eaux de pluie, elles doivent être écoulées par des aqueducs, placés aussi peu profondément que possible, si l'on ne peut se contenter de les évacuer à ciel ouvert.

Il est à remarquer que le système de canalisation que nous venons d'exposer est justement l'inverse de celui qui est ordinairement pratiqué en France, où la principale destination des égouts est de servir à l'écoulement des eaux de pluie et où l'on fait les égouts assez grands pour qu'ils puissent être parcourus par les ouvriers chargés de les nettoyer; il est en outre en communication avec tous les fosses d'aisance dont les matières solides sont généralement exclues des égouts chez nous.

Ce système diffère également de ceux qui ont été mis en exécution dans la plupart des grandes villes américaines, comme Chicago, New-York, Boston, Providence, où tout en adoptant le principe de la petite section pour les égouts, établis de manière à se nettoyer d'eux-mêmes (*self cleaning*), et à recevoir les matières fécales, on les fait servir en même temps à l'écoulement des eaux de pluie; il supprime notamment les puisards (*cesspools*), établis soit sous le sol des rues pour recevoir les matières entraînées par les eaux, soit à l'intérieur des habitations pour recevoir les eaux grasses, et dont la fermeture hydraulique, insuffisante pour empêcher les émanations des égouts au dehors lorsqu'elle fonctionne régulièrement, est sujette à ne plus fonctionner du tout, dès que le niveau de l'eau s'abaisse dans les puisards devenus eux-mêmes des foyers d'infection par suite de cet abaissement.

Les propositions de M. Waring, rompant avec les systèmes de canalisation en usage, ont d'abord rencontré une certaine opposition de la part de la municipalité de Memphis; celle-ci a fini cependant, après un examen approfondi de la question, par s'y rallier complètement, et les travaux, commencés en janvier dernier, sont aujourd'hui en voie d'achèvement.

N° 74

BIBLIOGRAPHIE.

INSTITUTION DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES

ANNÉE 1879-1880.

PREMIER VOLUME.

DEUXIÈME VOLUME.

TROISIÈME VOLUME.

QUATRIÈME VOLUME.

O. C.

ERRATUM *du tome XIX,* 3e *cahier de l'année* 1880, *page* 222, 2e *ligne en remontant*,

Au lieu de : soit γ l'abscisse, *lisez :* soit γ la différence des abscisses du point *m* et

---

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 2me SEMESTRE DE 1880.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

S

T

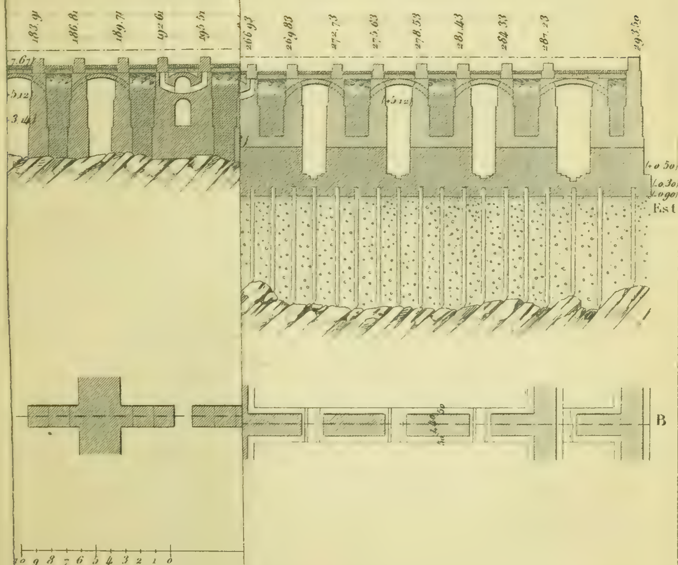
U

V

W

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 2me SEMESTRE DE 1880.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

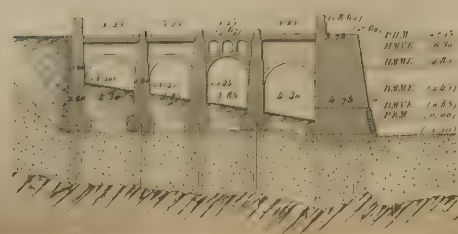


Grave par E. Pérot

REPRISE EN SOUS ŒUVRE DU BÂTIMENT PRINCIPAL DES SUBSISTANCES À CHERBOURG

Fig. 6

A Fig. 1. Coupe transversale suivt EF du Plan



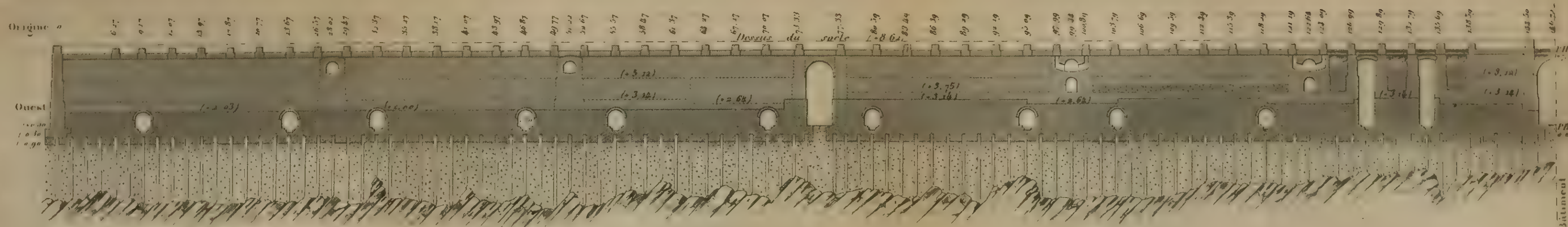
A Fig. 2. Coupe transversale suivt GH

A Fig. 3. Coupe transversale suivt IJ

Limnoria terebrans

Fig. 7. Vue de dos au microscope

A Fig. 4 Coupe longitudinale d'un mur d'appui suivt la ligne AB du Plan



A Fig. 5. Plan d'un mur d'appui

Fig. 8 Vue de ventre

Suite de la Coupe longitudinale (Fig 4)



Suite du Plan (Fig 5)

Echelle A de $0^m 002$ pour 1^m

Gravé par E. Perot

BSISTAN(

Fig. 18.



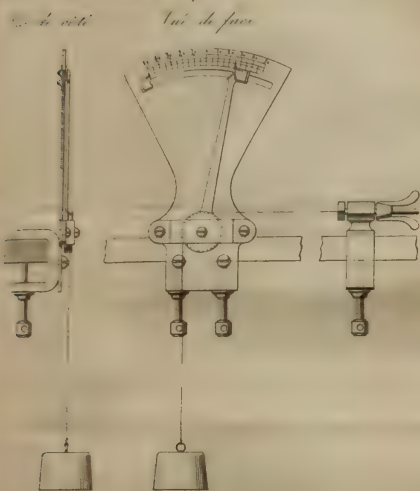




Fig 19

Fig. 9. Appareil pour mesurer le travail du fer (1/6 d'exécution)

Vue de côté — Vue de face



Batardeau

Fig. 10. Coupe transversale (Echle de 0,01 p.m.)

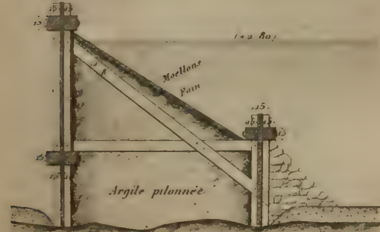
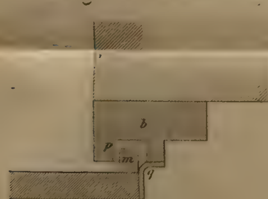


Fig. 11 (1/2 grandeur)



Quai

Fig. 12. Coupe suivant AB

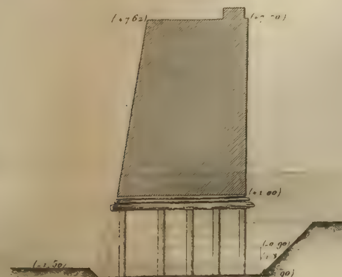


Fig. 13. Coupe suivant CD

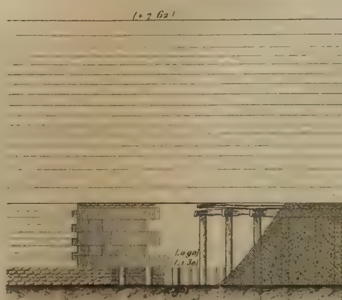
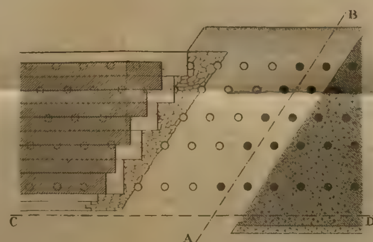


Fig. 14. Plan



Murs d'appui

Fig. 15. Coupe suivant EF

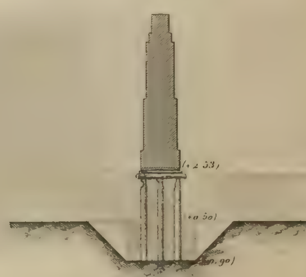


Fig. 16. Coupe suivant GH

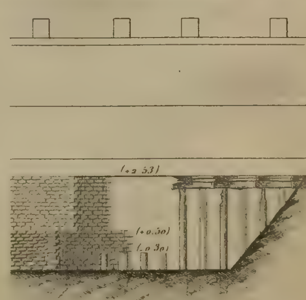
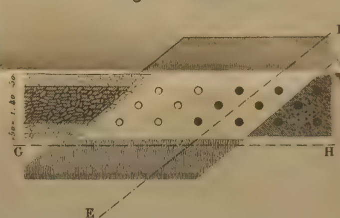


Fig. 17. Plan



Piliers

Fig. 18. Coupe suivant KL

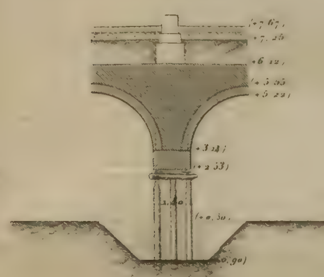


Fig. 19. Coupe suivant MN

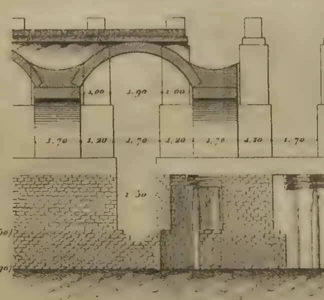
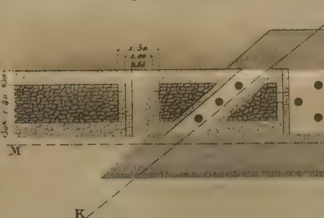


Fig. 20. Plan



Façade Sud

Fig. 21. Coupe suivant OP

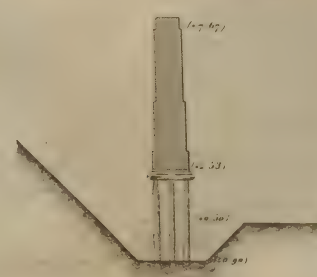


Fig. 22. Coupe suivant QR

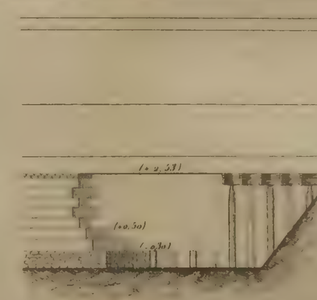
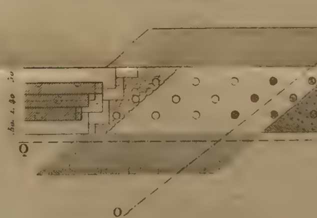
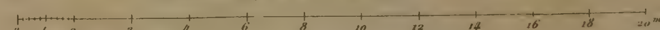


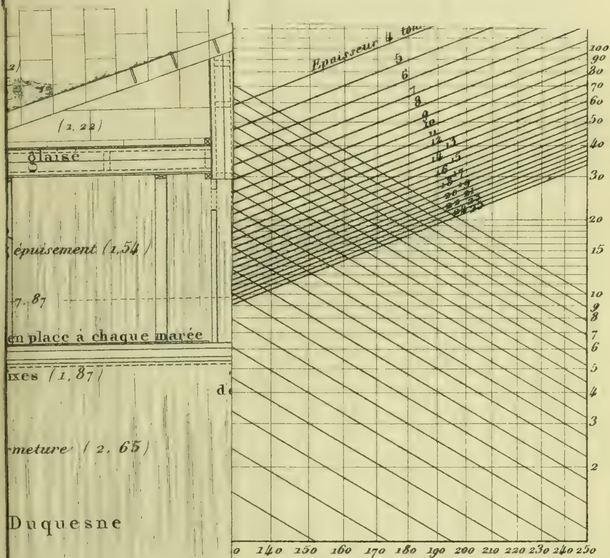
Fig. 23. Plan



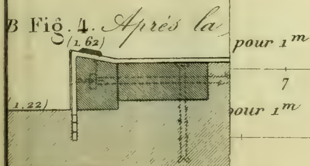
Echelle des fig 12 à 23 0m005 pour 1 mètre



Gravé par E. Perot



B Fig. 4. Après la



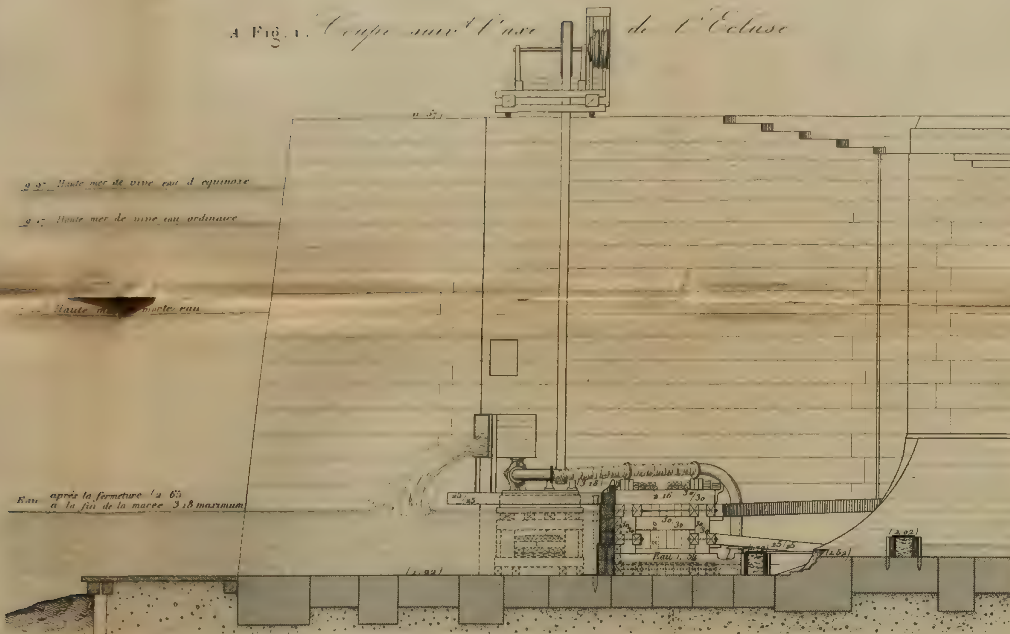
pour 1 m

7 8 9 10 m

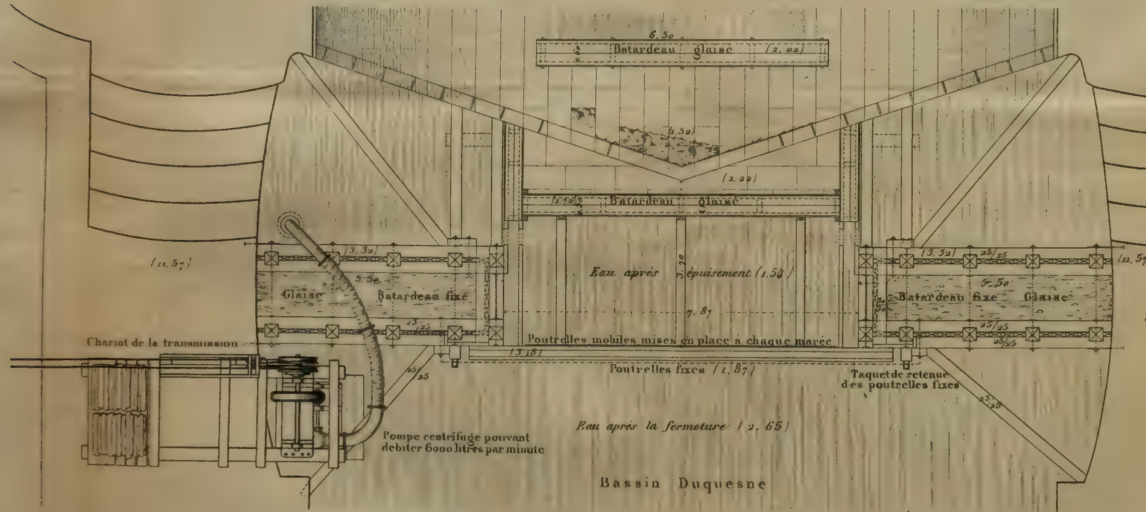
pour 1 m

Gravé par E. Pérot

A Fig. 1. *Coupe suivt l'axe de l'Ecluse*



A Fig. 2. *Plan*



Coupes du busc

B Fig. 3. *Avant la réparation*



B Fig. 4. *Après la réparation*



Tableaux graphiques pour le calcul des Ressorts

Fig. 5. *1re Série*

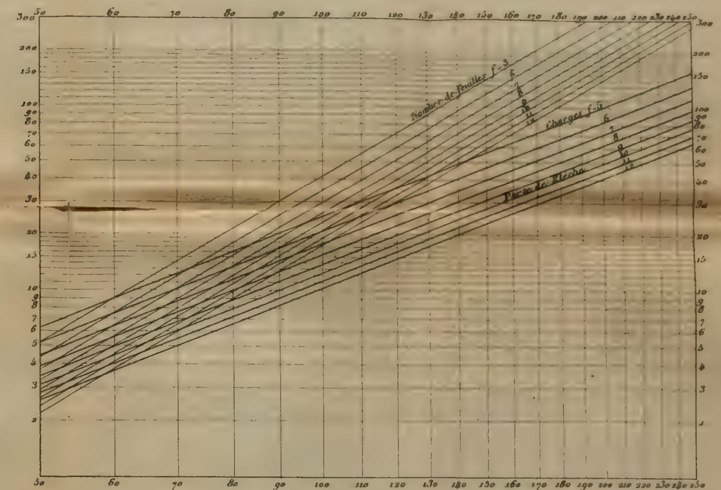
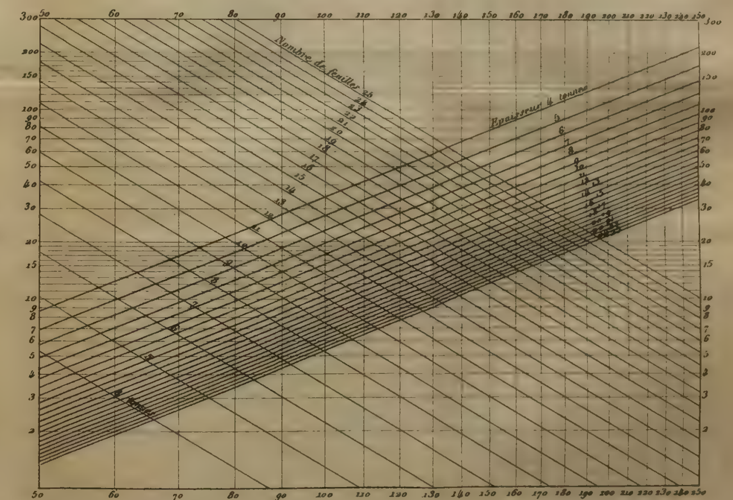


Fig. 6. *2e Série*



Echelle A de 0m 008 pour 1m

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10m

Echelle B de 0m 016 pour 1m

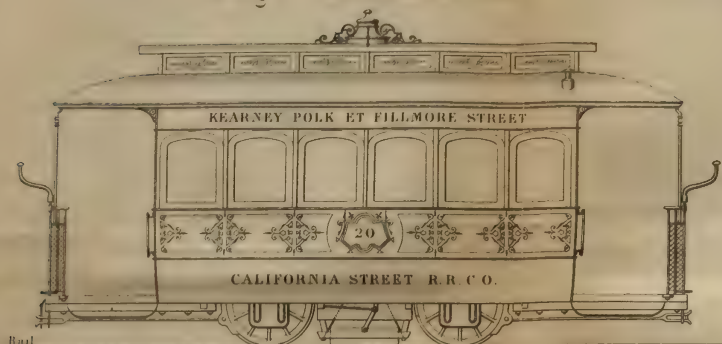
Gravé par E. Perot

3 CO.

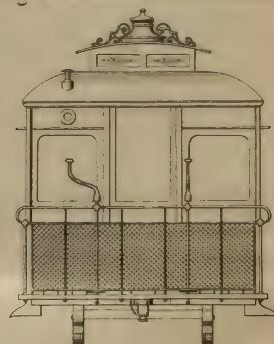
mité

Car

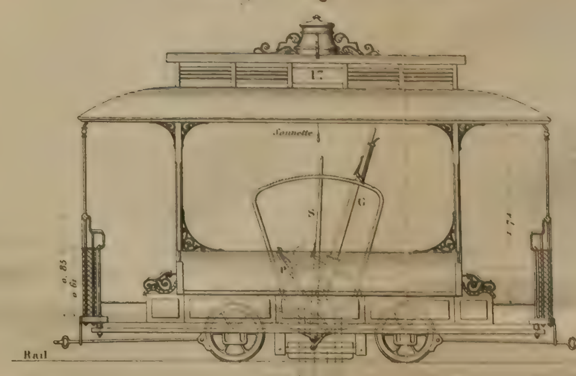
A Fig. 1. Élévation de côté



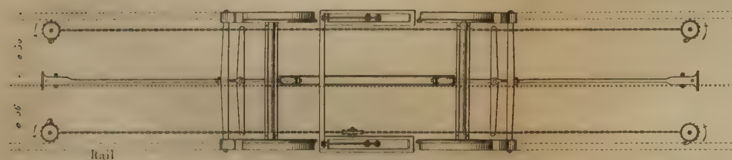
A Fig. 2. Élévation d'une extrémité



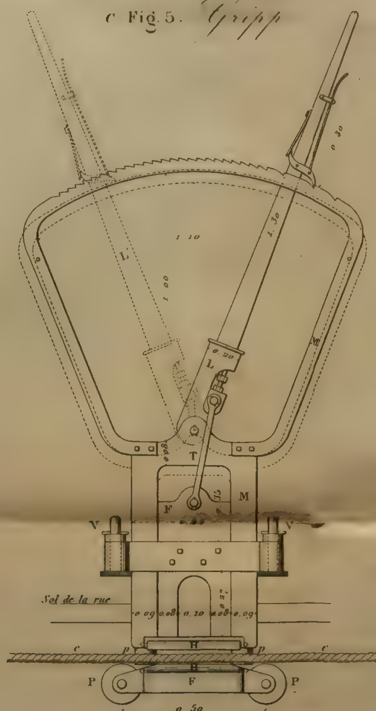
Dummy A Fig. 3. Élévation



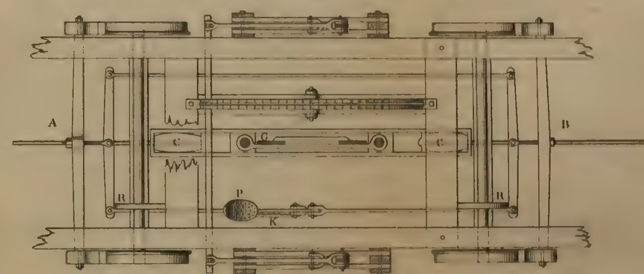
A Fig. 4. Plan des serre-freins et des tampons d'attache



C Fig. 5. Gripp

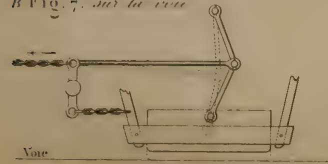


A Fig. 6. Plan du Dummy (le plancher enlevé)

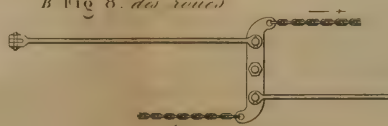


Serre-freins

B Fig. 7. sur la voie



B Fig. 8. des roues



B Fig. 10. Élévation du levier P

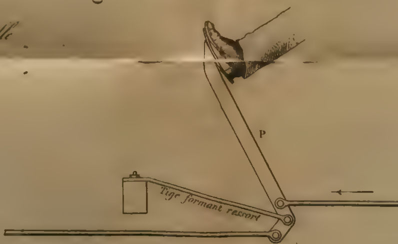
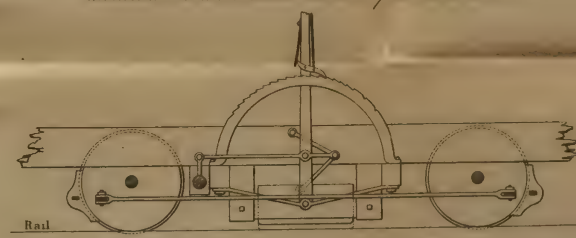


Fig. 9. Câble Section Grand^r naturelle



17 fils de 0,002 diamètre dans chaque toron

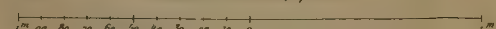
B Fig. 11. Coupe verticale suiv^t AB montrant le mécanisme du serre-frein sur la voie



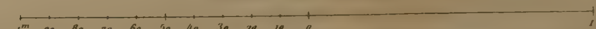
Echelle A de 0^m 02 pour 1^m



Echelle B de 0^m 04 pour 1^m



Echelle C de 0^m 05 pour 1^m



Gravé par E. Pérot

Larkin Street

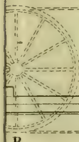
Rampe de 0.20 pour mètre

Côté de Kearne

Niveau inf
de la gripp

N

A



B

Jaquet d'arrêt

Grille d'éclairage

de $o^m oo5$ pour 1^m

0 1 2 3

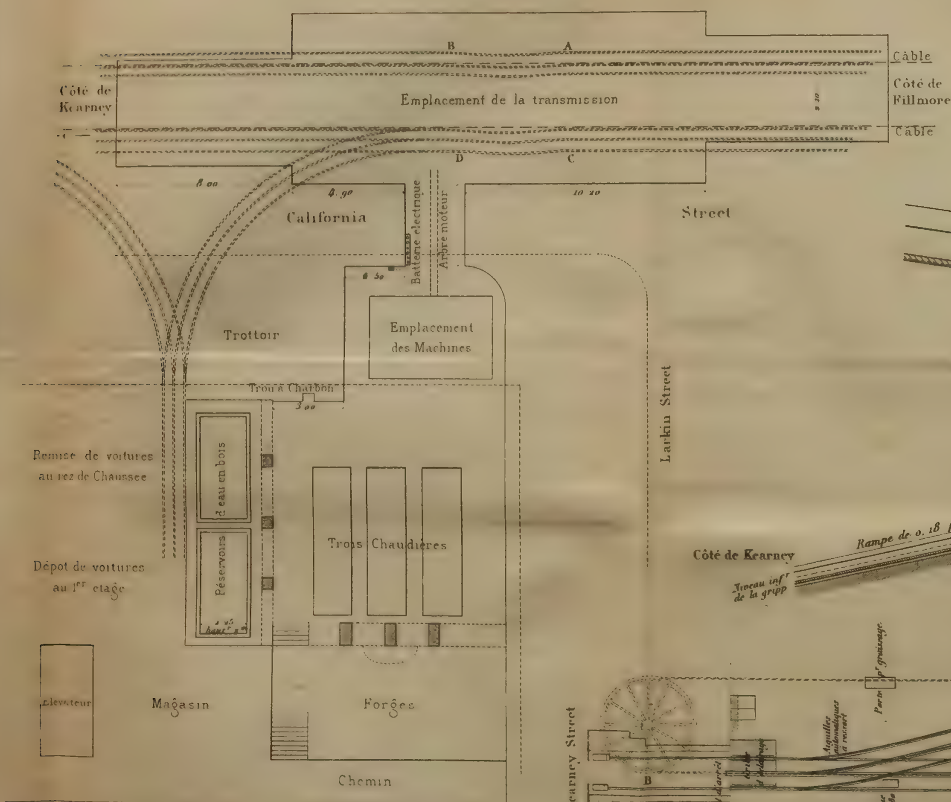
0 10 20^m

Gravé par E. Pérot

Fig. 1. Profil en long de la rue California

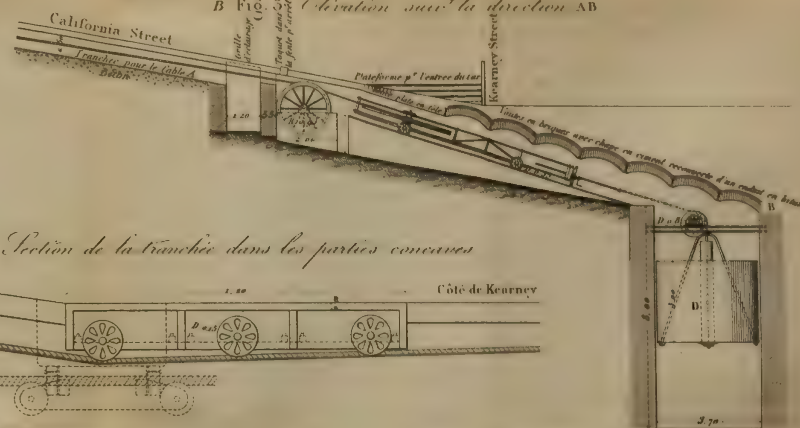


A Fig. 2. Plan général



Système de tension aux points de départ et d'arrivée

B Fig. 3. Élévation suivt la direction AB



C Fig. 4. Section de la tranchée dans les parties concaves

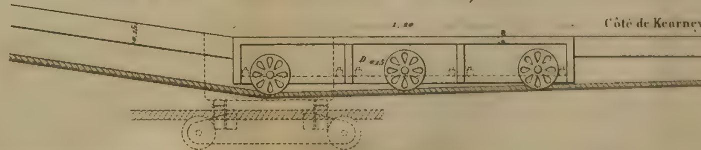
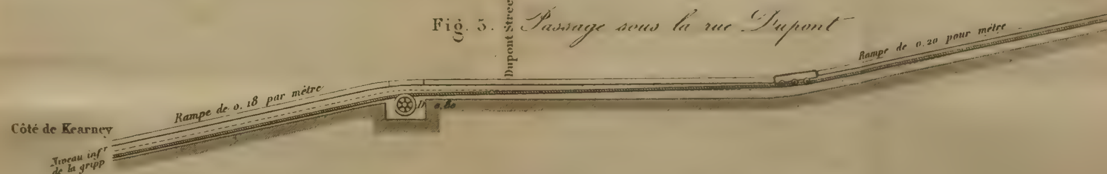
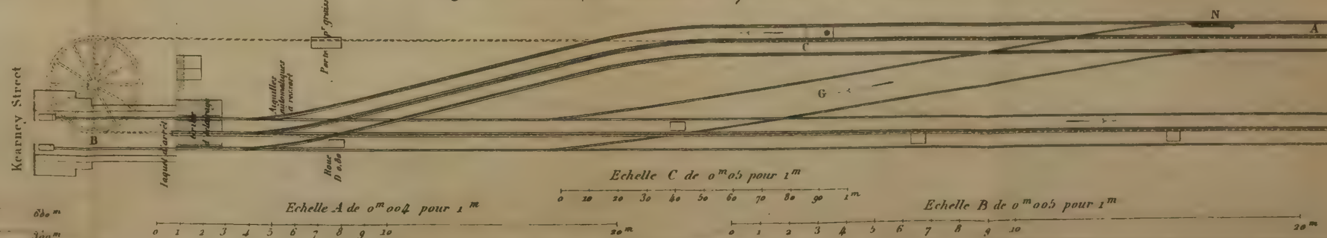


Fig. 5. Passage sous la rue Dupont



B Fig. 6 Plan de la voie au départ et à l'arrivée



Echelle des longueurs du Profil $0^m 001$ pour 10^m

Echelle des hauteurs du Profil $0^m 002$ pour 10^m

Echelle A de $0^m 004$ pour 1^m

Echelle C de $0^m 05$ pour 1^m

Echelle B de $0^m 005$ pour 1^m

Gravé par E. Perot

ANCIS

Fig. 1. Plan supérieur du système de transmission

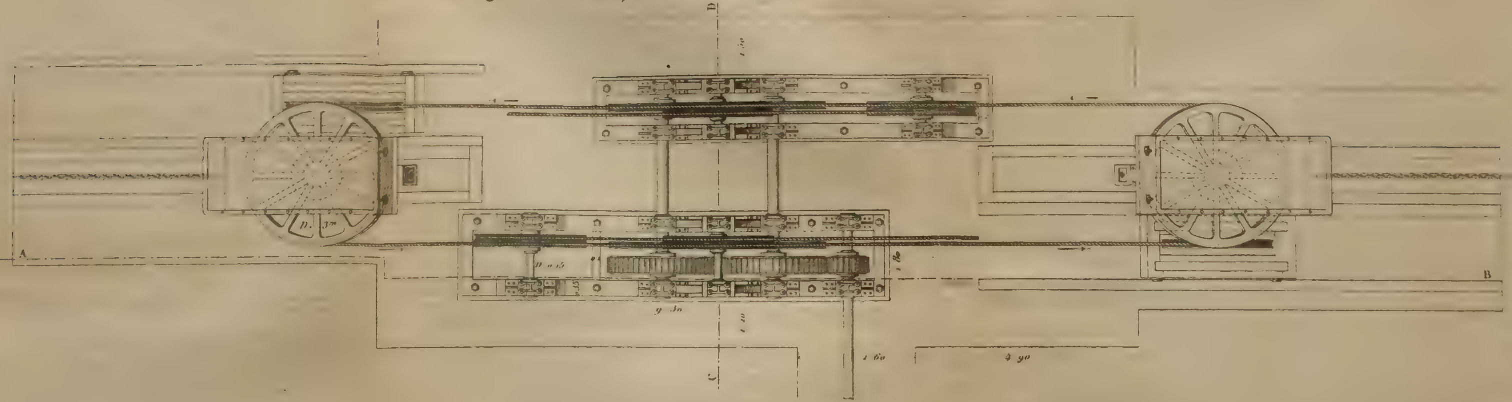


Fig. 2. Élévation suivant AB

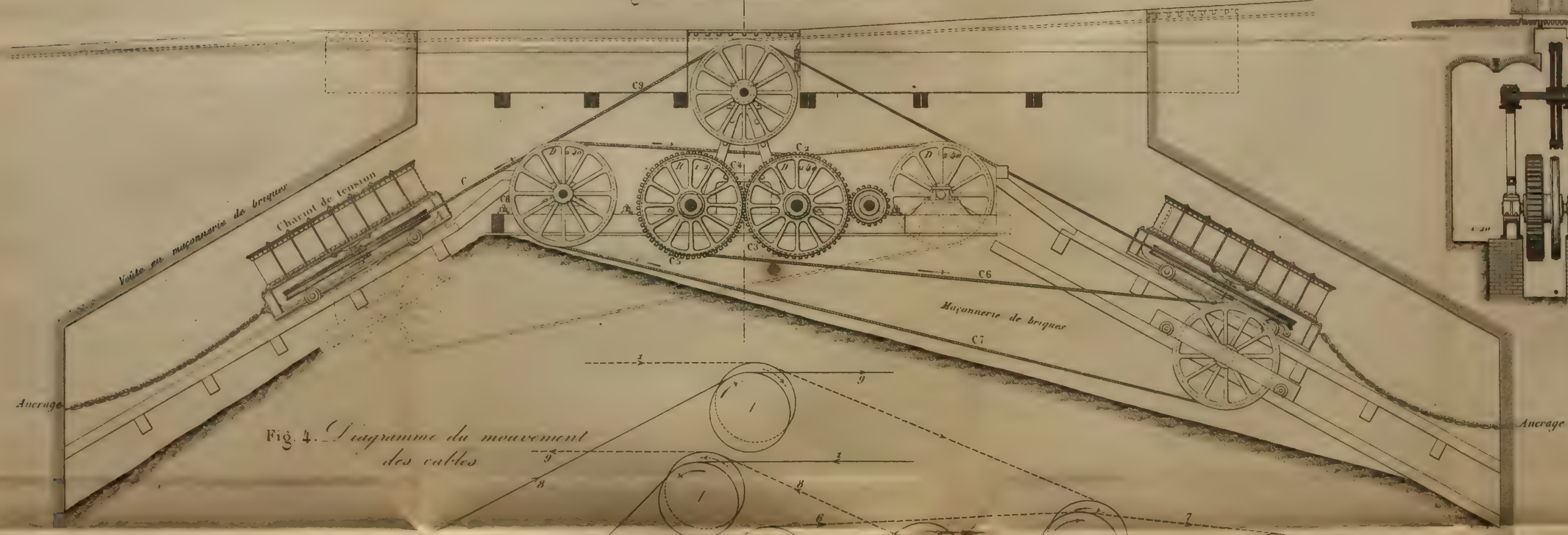


Fig. 3. Section verticale suivt CD

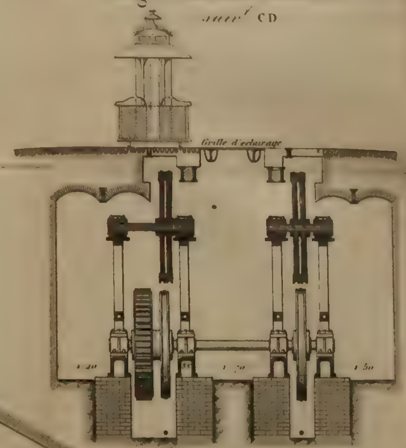
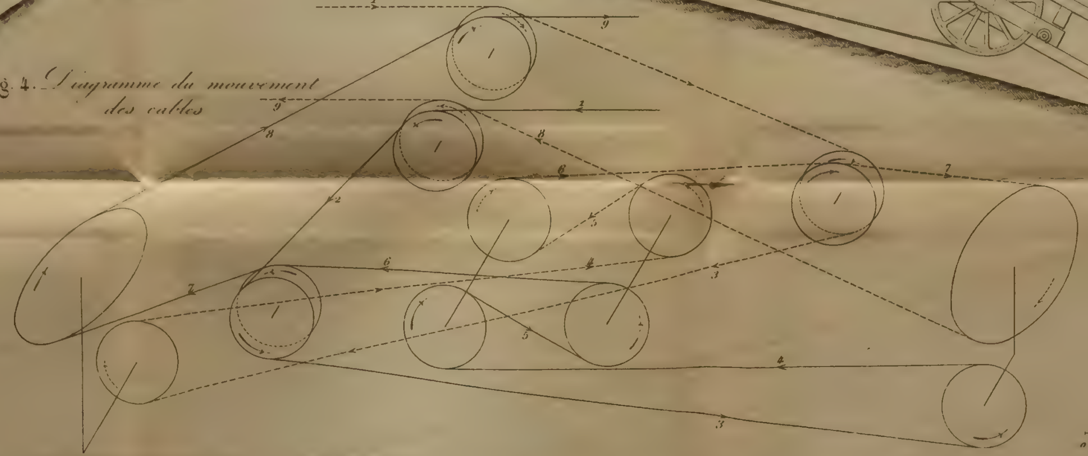


Fig. 4. Diagramme du mouvement des cables



Echelle de 0m008 pour 1m

Gravé par E. Perot

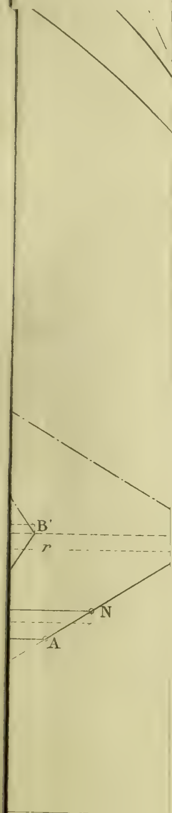

B'
r
N
A

Fig 1.

Fig 2

Pointe fixe

Pointe à tracer

Fig 3

Fig 4

Fig 5

Fig 6

Fig 7

asymptote

Fig 8

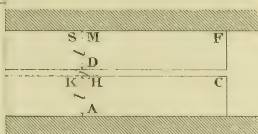
Fig 9.

Fig 10

Fig 11

Règle des poussées

Fig 4.



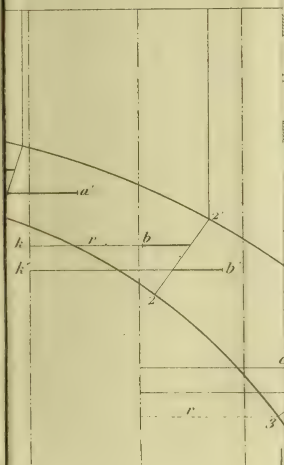
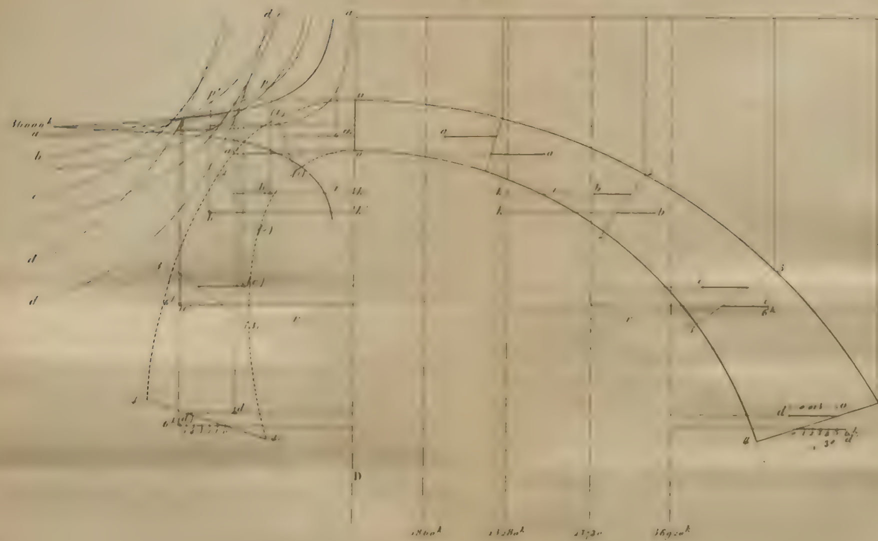
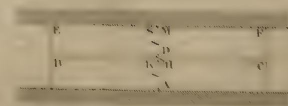
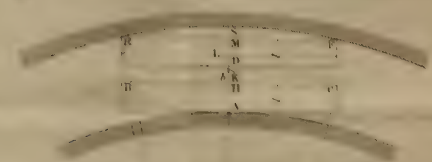


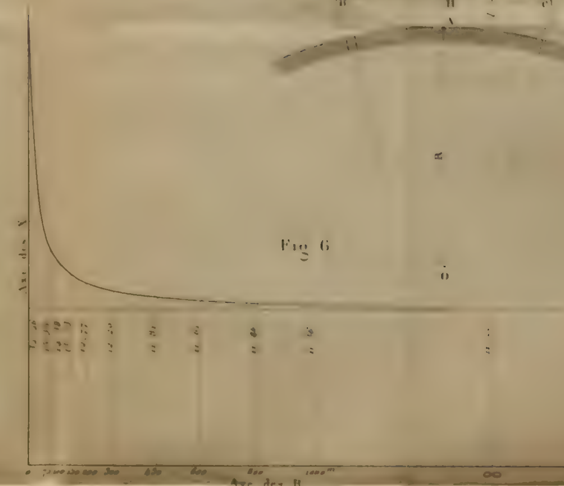
Fig. 5



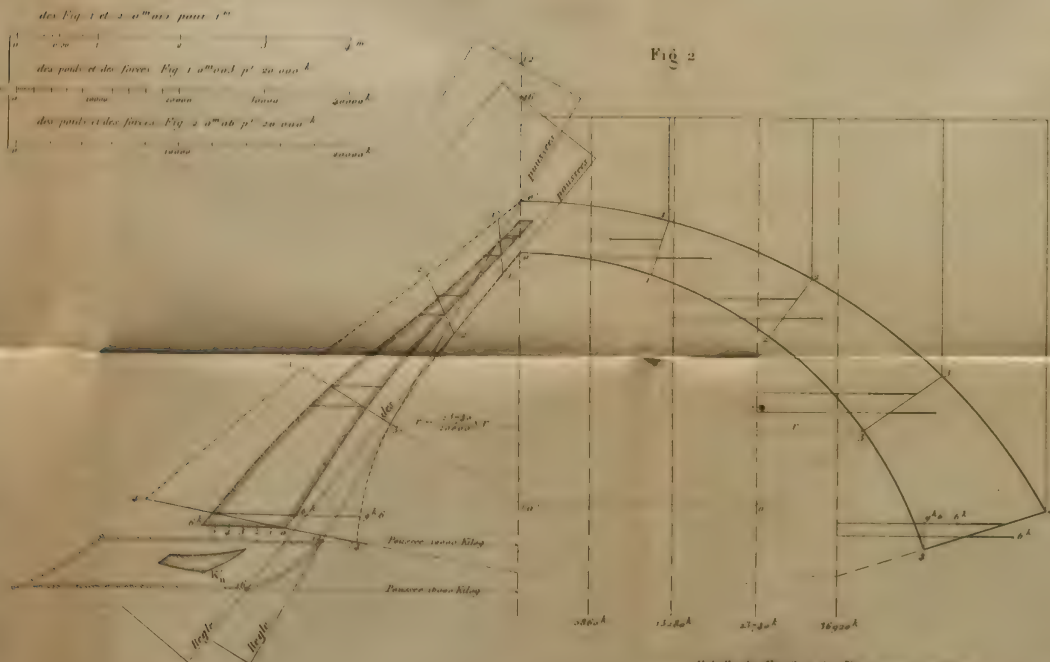


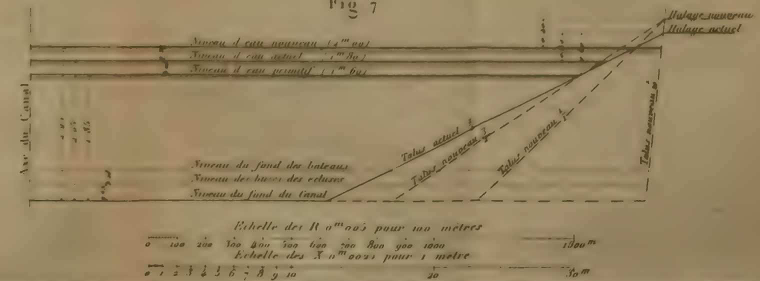






Échelles
des Fig. 1 et 2 0m,015 pour 1m
des poids et des forces Fig. 1 0m,0045 p. 20 000k
des poids et des forces Fig. 2 0m,06 p. 20 000k





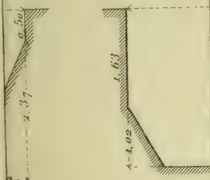
Échelle des Fig. 3 à 5 0m,001 pour 1 mètre
Échelle de la Fig. 7 0m,01012 pour 1 mètre

Échelle des R 0m,005 pour 100 mètres
Échelle des X 0m,0025 pour 1 mètre

D Fig. 22

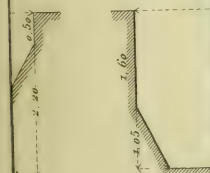
C Fig. 18 *Profil suiv^t l'axe du g^d tube et contigu au p*

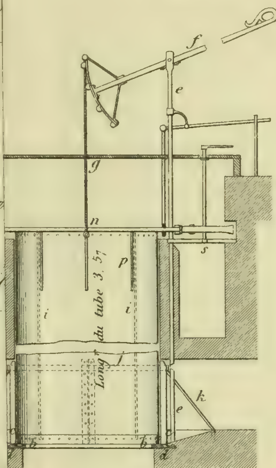
Fig. 23 *Frein hydraulique*

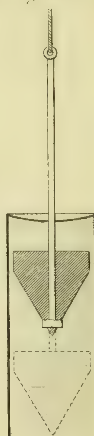


C Fig. 19. *Profil*

C







pour 1^m

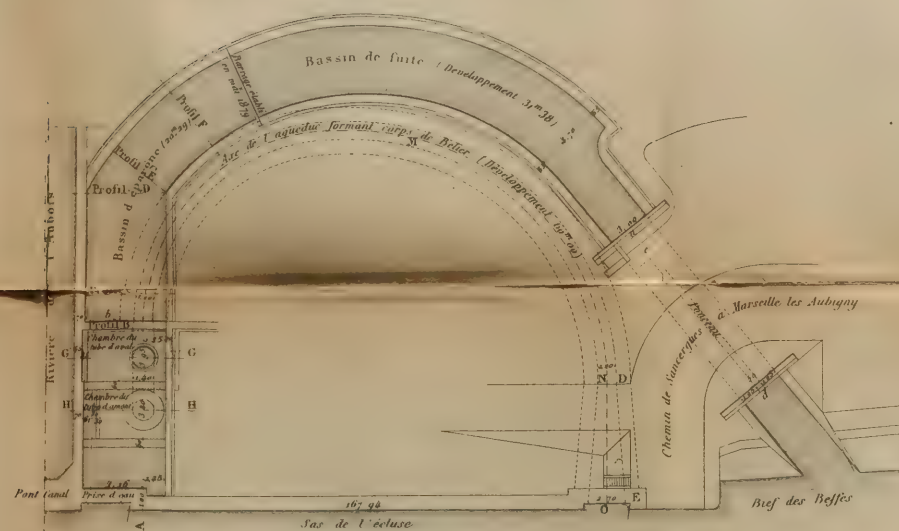
7 8 9 10^m

Echelle D de 0^m 0125 pour 1^m

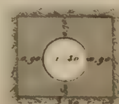
1 2 3 4 5^m

Gravé par E. Pérot

A Fig. 1. Plan du bassin d'épargne



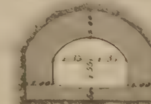
B Fig. 2 dans le petit bassin



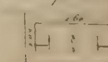
B Fig. 3 Coupes de l'aqueduc dans la partie comprise entre les points B et D



B Fig. 4 à l'extrémité de l'entonnoir DE

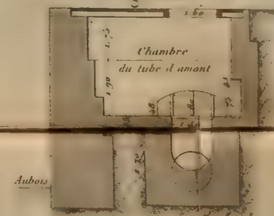


B Fig. 5 Prise d'eau pratiquée dans le bajoyer de la chambre des portes d'amont A

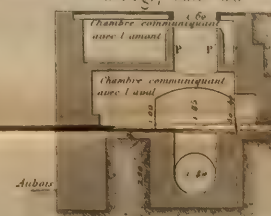


Coupes du petit bassin

B Fig. 6 suivt HH'



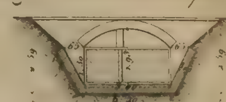
B Fig. 7 suivt GG'



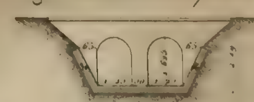
B Fig. 8 Tête de l'aqueduc pratiquée dans le bajoyer de la chambre des portes d'aval O



B Fig. 9. Tête d'amont du ponceau a



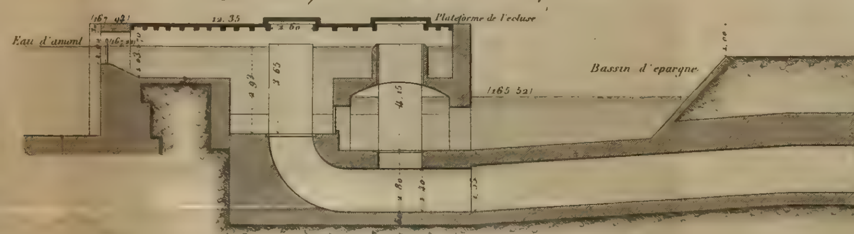
B Fig. 10. Tête d'aval du ponceau d



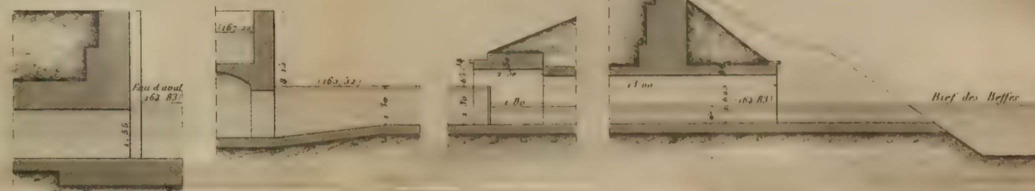
B Fig. 11 Coupe du ponceau dans la chambre c



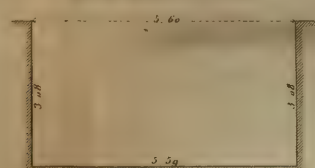
B Fig. 12. Coupe suivt l'axe de l'aqueduc ABMNO



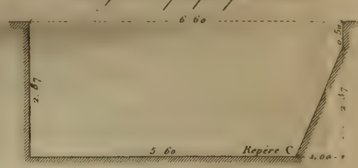
B Fig. 13. Coupe en long des bassins d'épargne et de fuite



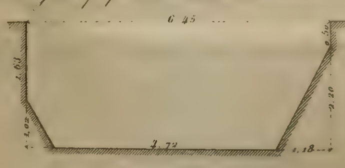
C Fig. 14. Profil B à l'aplomb du mur de la chambre d'aval



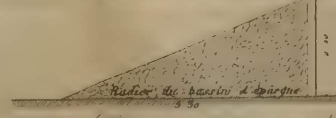
C Fig. 16. Profil C contigu au profil précédent



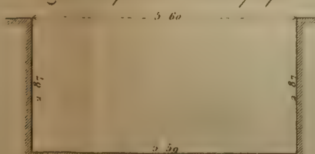
C Fig. 18. Profil E à 3m50 du profil F (Côté de l'Aubois) et contigu au profil D (Côté de la maison éclusière)



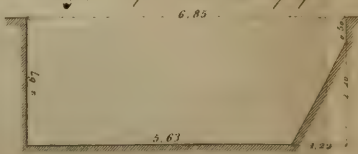
C Fig. 20. Profil suivt l'axe du bassin d'épargne du barrage et du brise-lames situé en amont



C Fig. 15. Profil à 2m17 du profil B



C Fig. 17. Profil D à 6m10 du profil C



C Fig. 19. Profil F applicable sur une longr moyne de 10m

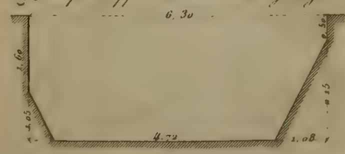
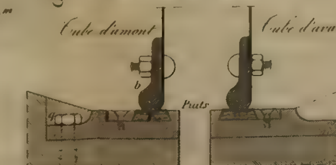


Fig. 21. Couronnes à la base des tubes



D Fig. 22 Coupe suivt l'axe du gd tube

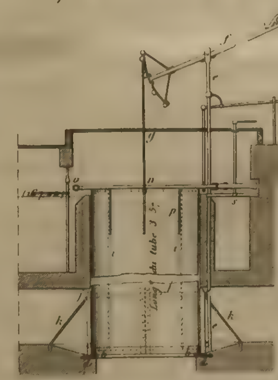


Fig. 23 Frein hydraulique



Echelle A de 0m0025 pour 1m
Echelle B de 0m005 pour 1m
Echelle C de 0m008 pour 1m
Echelle D de 0m0125 pour 1m

Gravé par E. Pérot

5e S

IR

Rue

MMA

ateau

Fig. 1. Plan général du réservoir et de sa rigole de remplissage

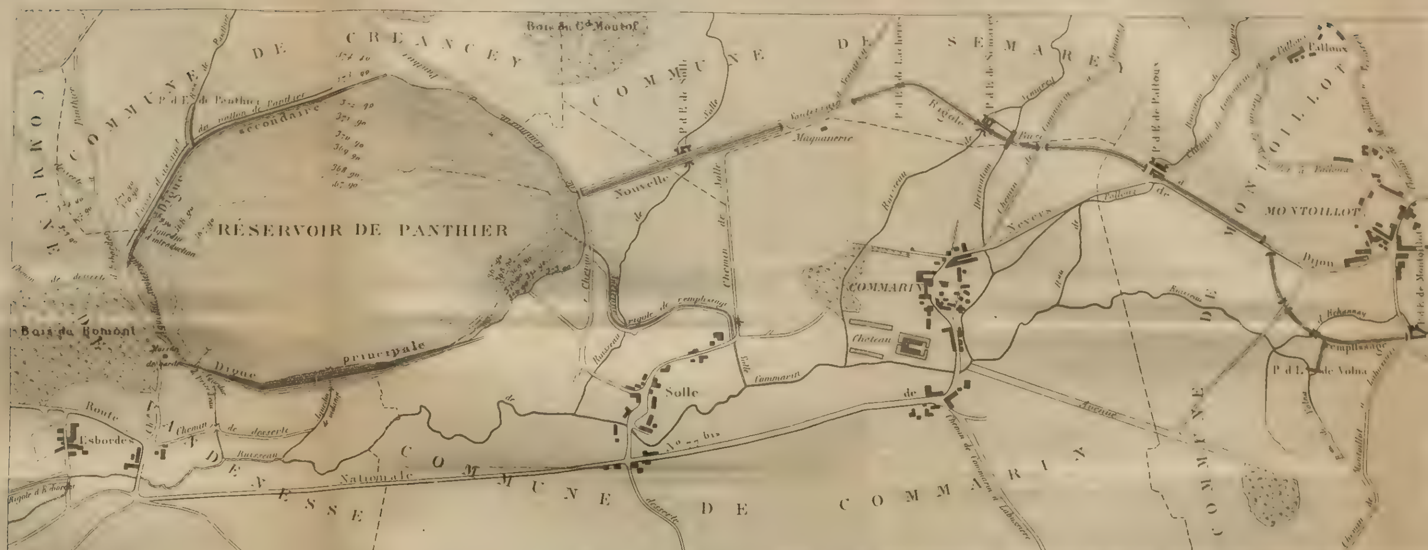


Fig. 2 Profil en long de la rigole de remplissage

Pont du chemin périmétrique — Prise d'eau de Solle — Souterrain Longueur 250 mètres — Prise d'eau des Lacheres — Aqueduc des Lacheres — Prise d'eau de Semarey — Buse de la dérivation du Ruisseau de Semarey

Pente de 0m065 par mètre sur une longueur de 89m00

Pente de 0m003 par mètre sur une longueur de 393 mètres Chute de 1m65

Pente de 0m0021 par mètre sur une longueur de 780m 31

Pente de 0m0004 sur 155m92 Chute de 1m00

Fig. 2 bis Suite du profil en long de la rigole de remplissage

0m0002 par mètre sur une longueur de 668m76 Chute de 1m13

Pente de 0m00025 par mètre sur une longueur de 684m01 Chute de 0m30

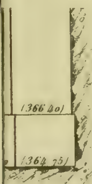
Pente de 0m00025 par mètre sur une longueur de 477m92 Chute de 0m44

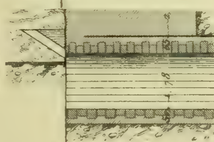
Plan — Echelle de 0m05 pour 1 Kilomètre

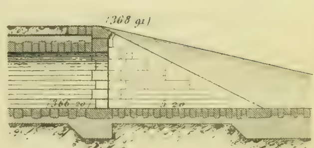
Profil en long — Echelle des longueurs 0m0002 pour 1m

Profil en long — Echelle des hauteurs 0m002 pour 1m

Gravé par E. Pérot

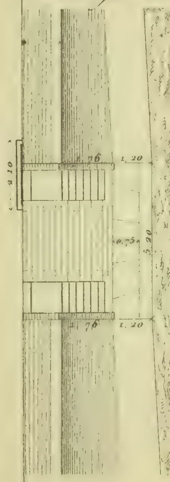


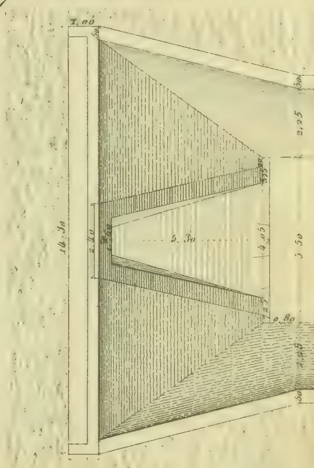




ouvrage de prise d'eau







m00025 pr 1m (1/4000)

200m

02 pr 1m (1/500)

20 30m

Gravé par E. Pérot

Fig. 1. Profil en long et élévation amont de la digue principale

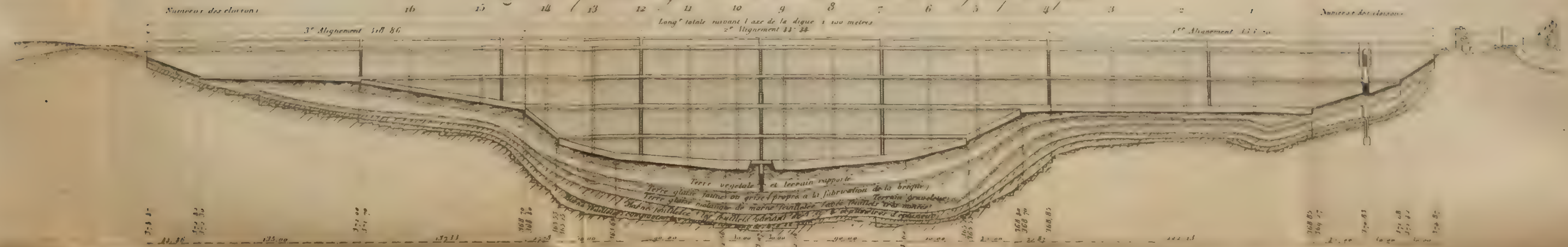


Fig. 2. Coupe transversale de la digue suivant l'axe de l'aqueduc de vidange

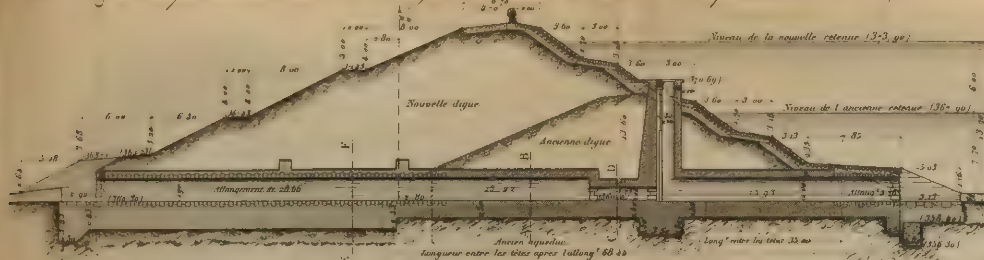
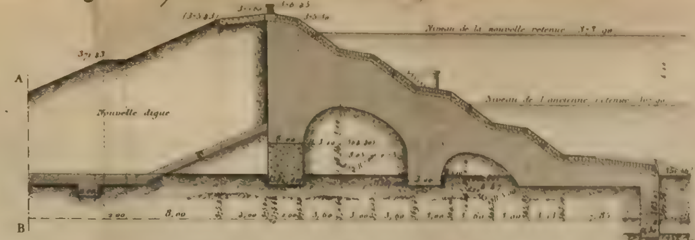


Fig. 3. Coupe transversale de la digue sur l'axe de la cloison N° 1



Têtes de l'aqueduc de vidange

Fig. 10. Élévation aval



Fig. 11. Élévation amont

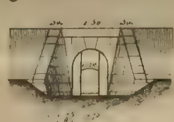


Fig. 5. Coupe transversale de l'ouvrage de prise d'eau suivt CD EF

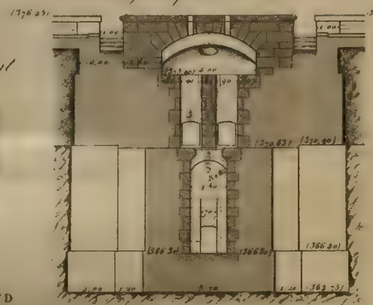


Fig. 4. Élévation du déversoir et de l'ouvrage de prise d'eau

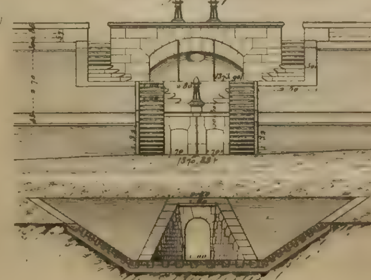


Fig. 6. Coupe longitudinale de l'ouvrage de prise d'eau suivant l'axe des ouvertures

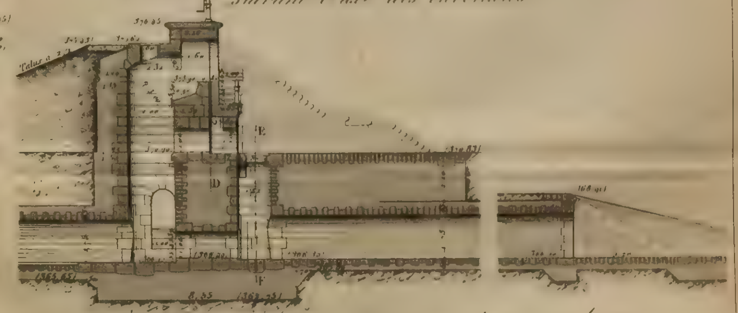


Fig. 12. Coupe suivt AB

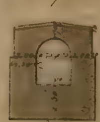


Fig. 13. Coupe suivt CD



Fig. 14. Coupe suivt EF

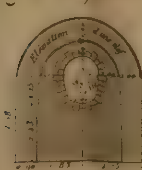


Fig. 15. Plan de l'ancienne tour de prise d'eau

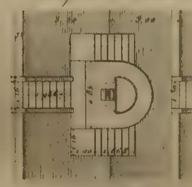


Fig. 7. Plan au niveau du déversoir

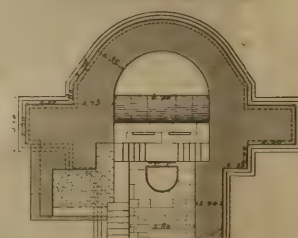


Fig. 8. Plan au niveau des aqueducs inférieurs

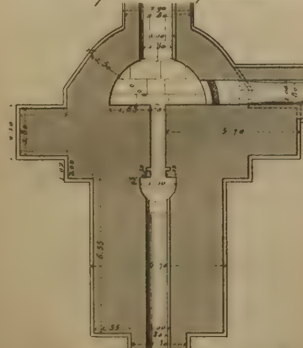


Fig. 9. Plan supérieur de l'ouvrage de prise d'eau

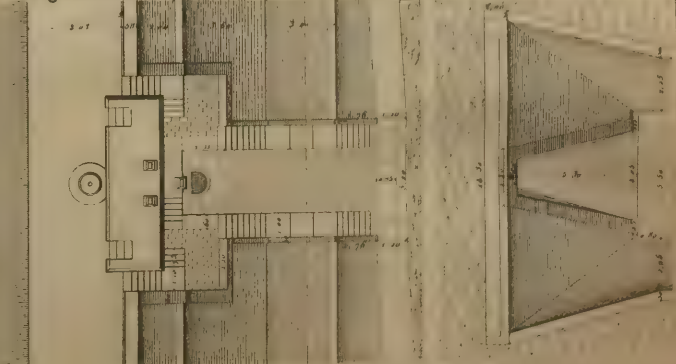


Fig. 4 à 15. Échelle de 0m003 pour 1 mètre (1/250)

Fig. 1. Échelle des longueurs 0m00025 pr 1m (1/3000)

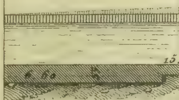
Fig. 1. Échelle des hauteurs 0m002 pr 1m (1/500)

Fig. 2 et 3. Échelle de 0m002 pour 1m (1/500)

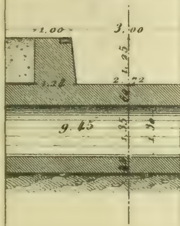
Gravé par E. Pérot

5e **PANTHI**

le



ant l'axe d



Prise d'eau de Semarey

Fig. 1. Coupe suivant l'axe de la rigole

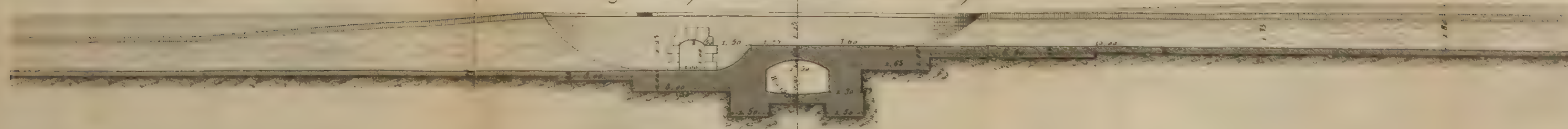


Fig. 2. Côte aval de l'aqueduc principal

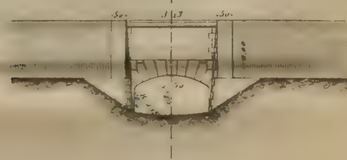


Fig. 3. Coupe suivant l'axe de l'aqueduc principal

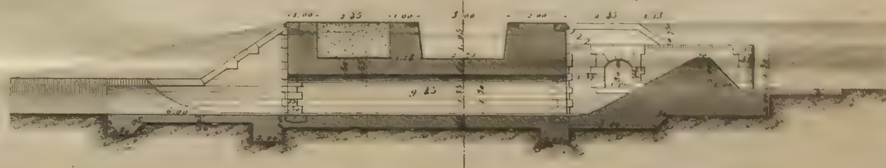


Fig. 5. Coupe du souterrain de la Maguanerie



Fig. 4. Plan général

Echelle de 0^m005 pour 1^m $\left(\frac{1}{200}\right)$

Gravé par E. Perot





Chemin de servic
pour les piétons.

id. pour les bestiau

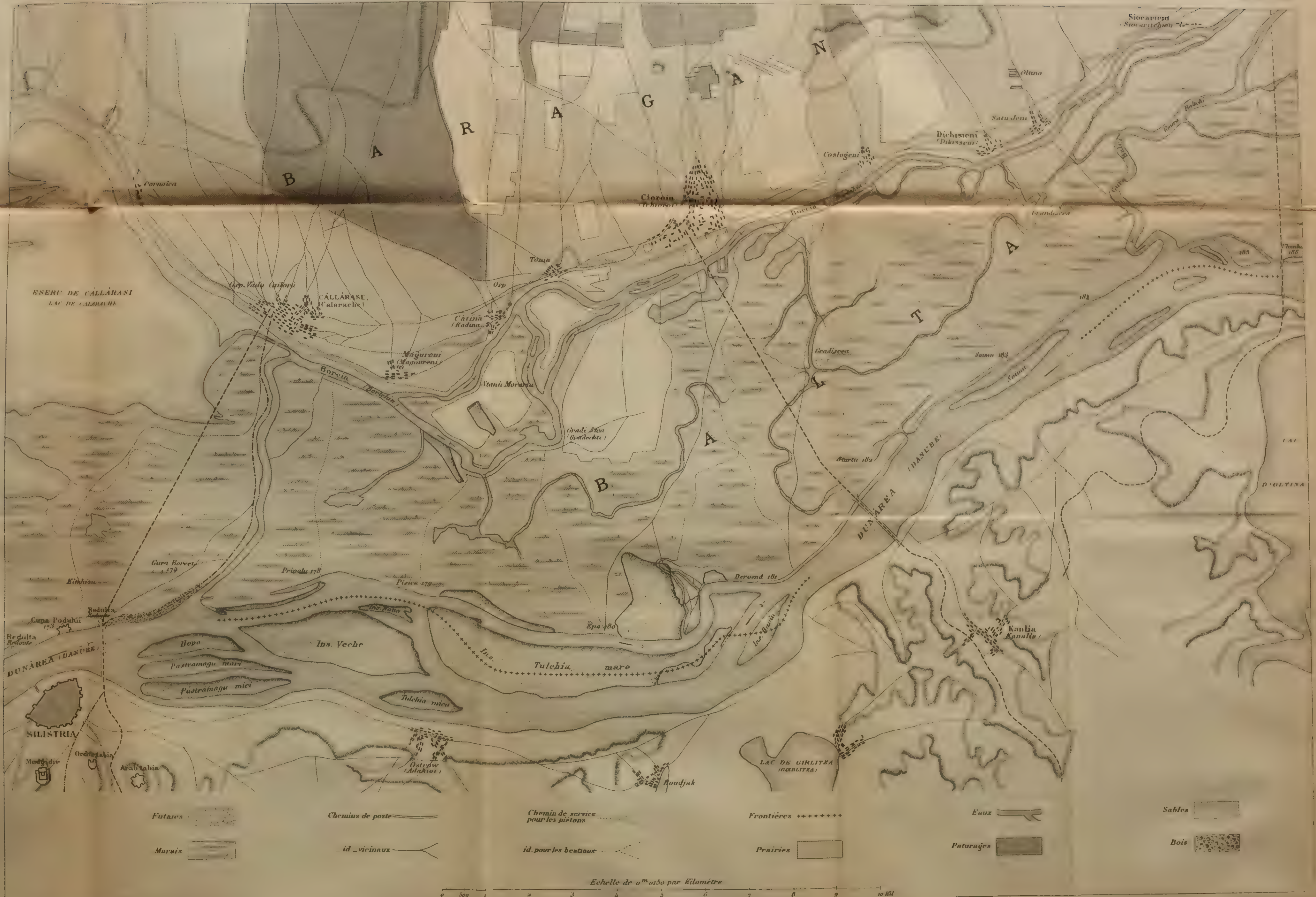
Sables

Bois

1 2 3

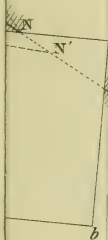
Gravé par E. Pérot.

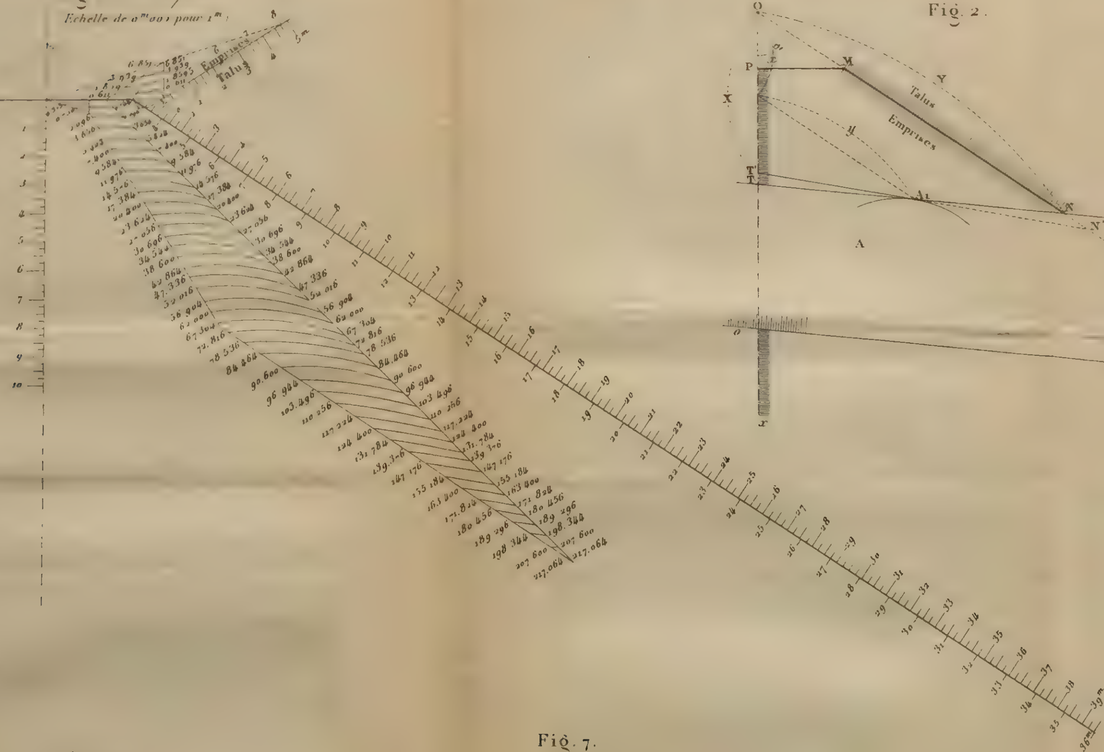
CARTE DU COURS DU DANUBE AUX ABORDS ET A L'AVAL DE SILISTRIE

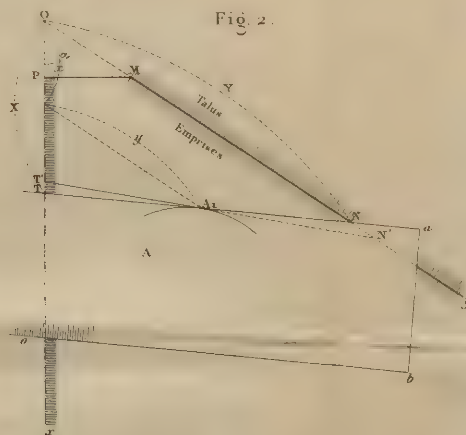


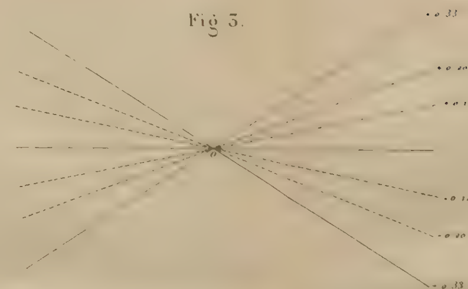
Gravé par E. Perot

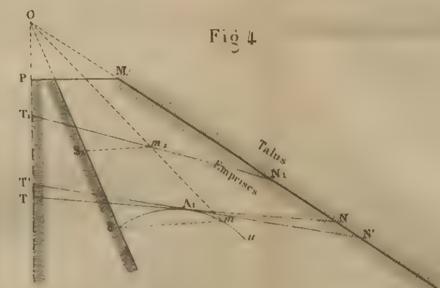
5 S DE

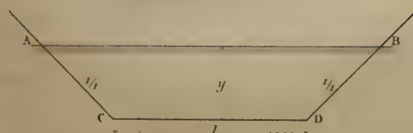


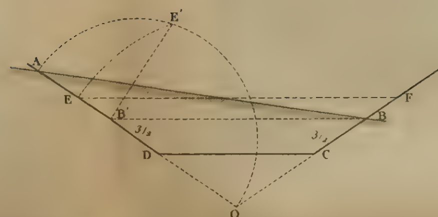

Fig. 1. Profil
Echelle de 0m,001 pour 1m
Emprises
Talus

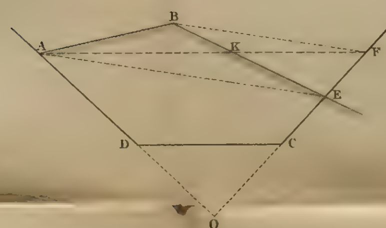

Fig. 2.
Talus
Emprises

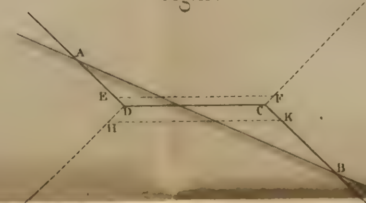

Fig. 3.

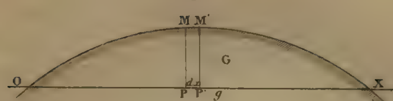

Fig. 4.
Talus
Emprises

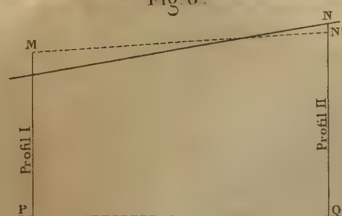

Fig. 5.

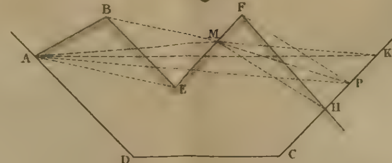

Fig. 7.

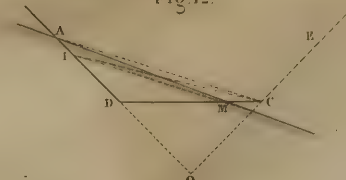

Fig. 9.

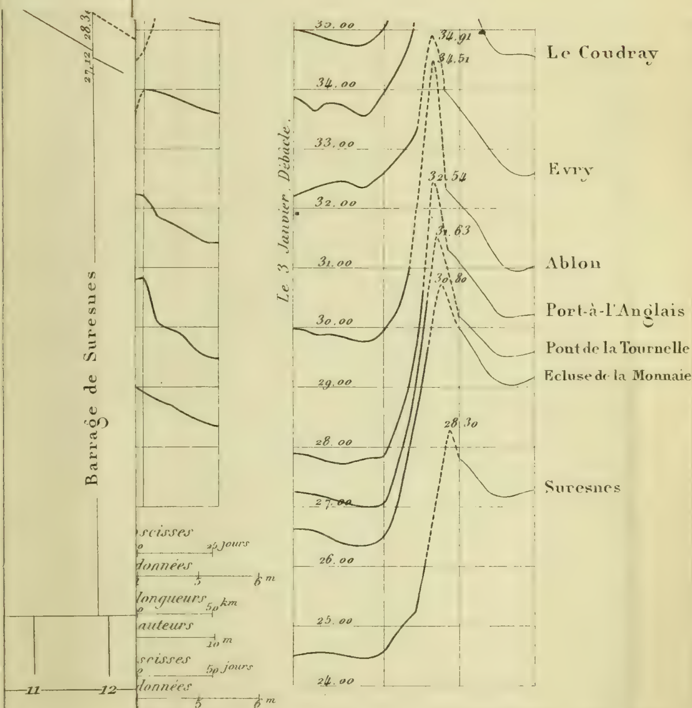

Fig. 11.


Fig. 6.


Fig. 8.
Profil I
Profil II


Fig. 10.


Fig. 12.



Gravé par E. Pérot

DÉBÂCLE DE LA SEINE PENDANT L'HIVER 1879-1880

Fig. 1 Profils en long comparatifs pendant la période des glaces (altitudes rapportées au nivellement général)

Légende
Glaces flottantes
Arrêt des glaces
Rivière libre

Crue de débâcle perturbations dans les pentes

Le 29 Xbre glaces arrêtées, sauf de Bezons à Bougival

Les 2 et 3 Janvier débâcle, changement de pente à Lacave Citanguette, amont de Suresnes, Bezons

Crue apparente produite par l'arrêt des glaces

Maximum de la crue et fin de la débâcle, retour au régime normal

Courbe des maxima observés du 2 au 4 janvier
Décrue rapide au Coudray et à Ablon

Le 6 Xbre glaces flottantes
Le 15 Xbre glaces arrêtées excepté de Suresnes en aval de Bougival

Décembre 1879
Janvier 1880
Courbe des maxima

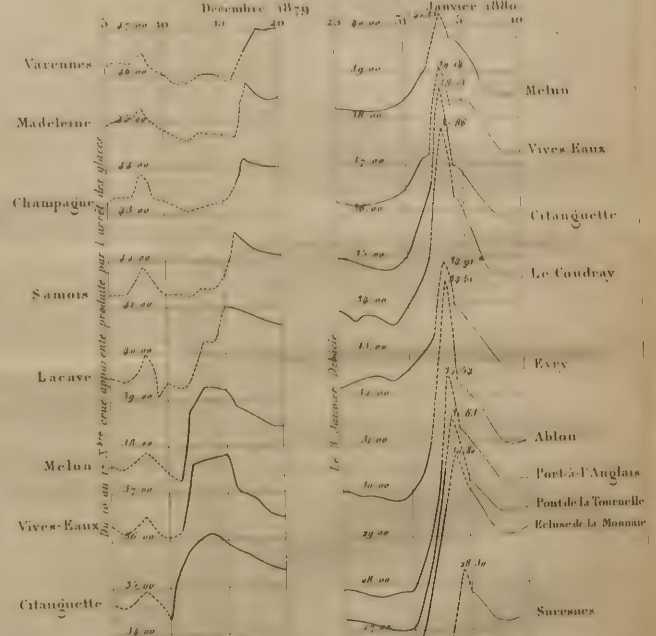
Confluent de l'Yonne
Barrage de Varennes
de Madeleine
de Champagne
de Samois
de Lacave
de Melun
de Vives-Eaux
de Citanguette
du Coudray
Pont de Corbeil
Barrage d'Evry
d'Ablon
Pont de Choisy-le-Roi
Barrage de Port-à-l'Anglais
Confluent de la Marne
Pont de la Tournelle
Barrage de la Monnaie
Pont des Invalides
Barrage de Suresnes
de Bezons
Écluse de Bougival
Pont de Maisons
Confluent de l'Oise
Écluse de Denouval
Pont de Poissy
de Meulan
de Mantes

Myriam.

Fig. 2

La Marne à St Dizier
1866 1872 1880

La Seine à Mantes
1866 1872 1880



Gravé par E. Pérot

)-188



Pont de la

on Vais

162.697

35

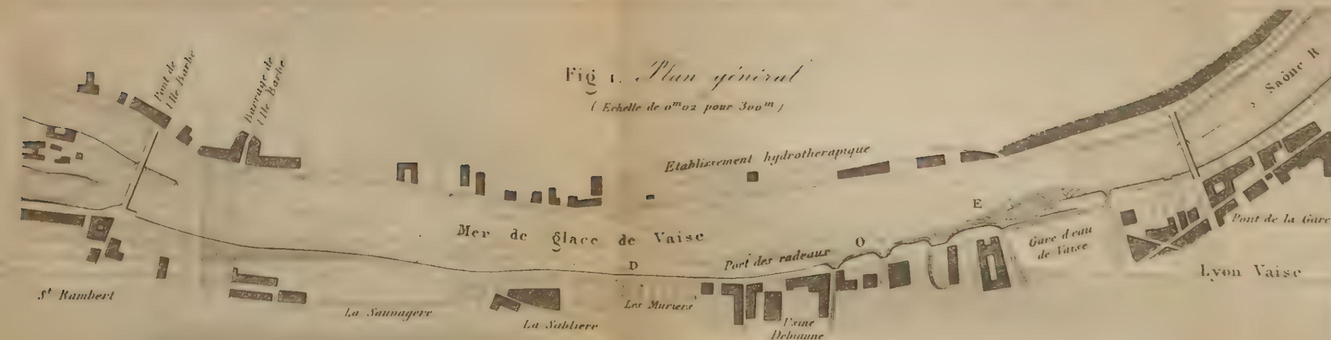





Fig. 11. Vue prise du point O vers l'amont

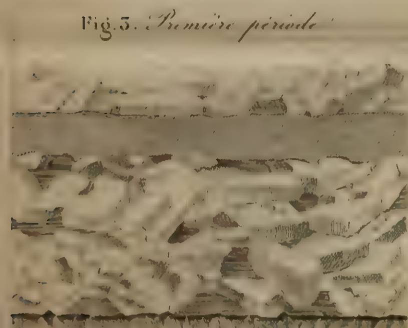
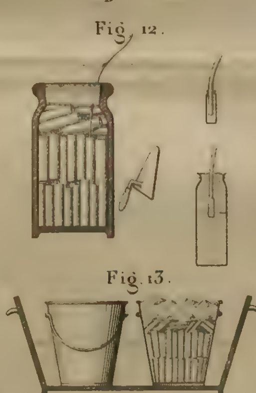

Fig. 3. Première période


Fig. 4.


Fig. 12.

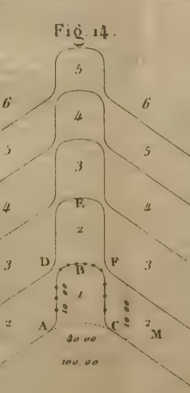

Fig. 14.


Fig. 17. Profil AB


Fig. 18. Profil CD


Fig. 5. Deuxième période

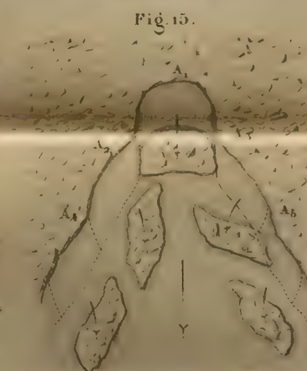

Fig. 13. — Fig. 15.


Fig. 16.


Fig. 19. Profil après l'affaissement

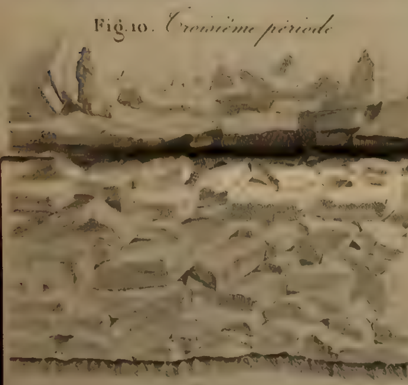
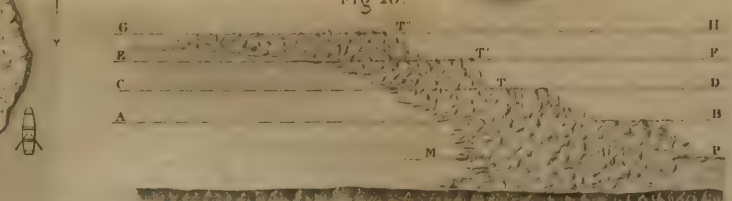

Fig. 10. Troisième période


Fig. 8 — Fig. 6 — Fig. 9 — Fig. 7


Fig. 20.

Gravé par E. Perot

Appareils d'enclanchement.

Appareil Vignier.

Fig. 1.

B_1 normal — B_2 normal — B_3 normal — B_4 normal — B_5 normal

A normal

B_4 renversé — B_5 renversé

B_1 normal — B_2 renversé — B_3 renversé — B_4 normal — B_5 normal

A renversé

B_4 renversé — B_5 renversé

Appareil Saxby et Farmer

Fig. 2.

A normal

A normal — B_1 — B_2 — B_3 — B_4 — B_5

A renversé

A renversé — B_1 — B_2 — B_3 — B_4 — B_5

Fig. 3.

C normal — A renversé — B normal

C normal — A normal — B renversé

C renversé — A normal — B renversé

C renversé — A renversé — B renversé

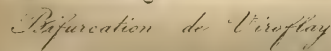
Fig. 4.

Signal indicateur de direction — Aig. 1 — Aig. 3 — No 6 — No 2 — No 4 — No 8 — No 1

Côté de Viroflay (R.G.)

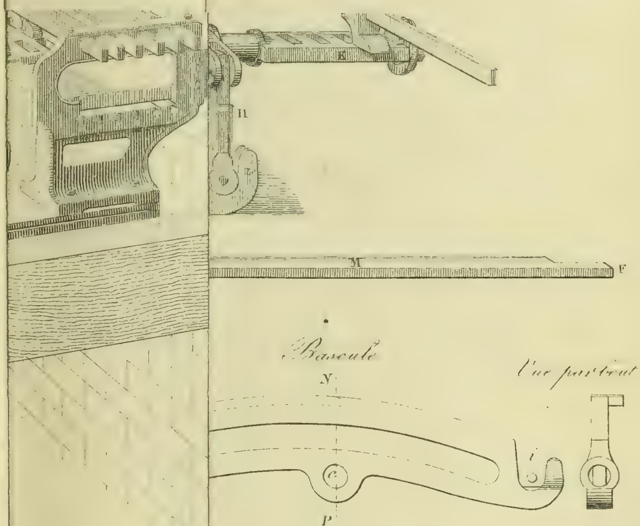
Côté de Versailles (R.D.)

Côté de Paris (St Lazare)

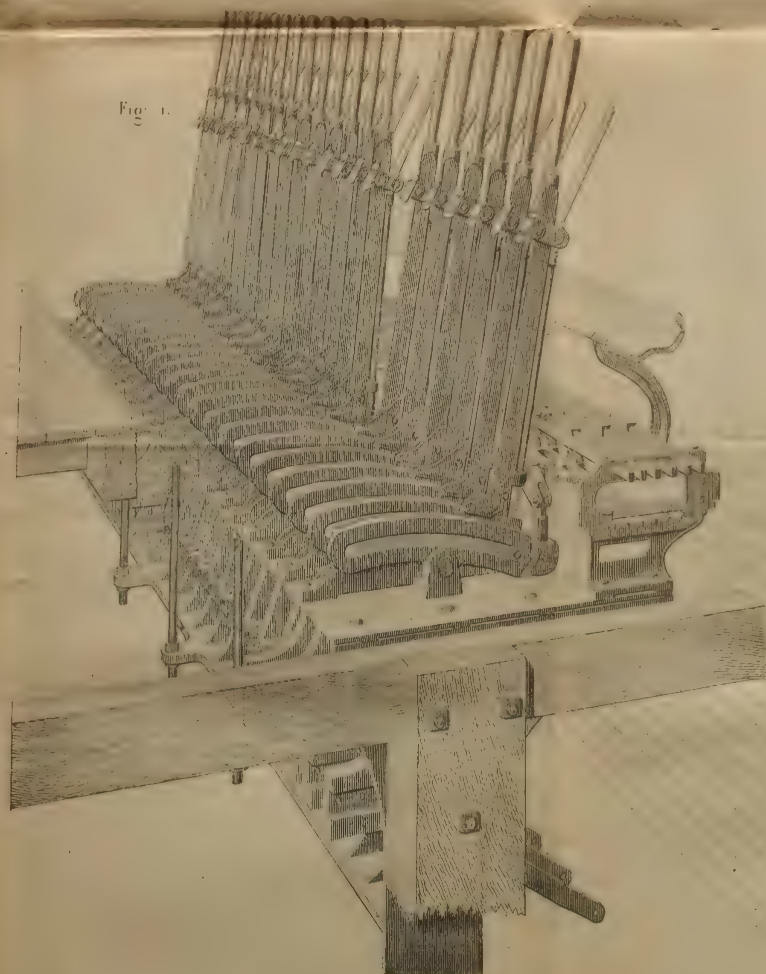


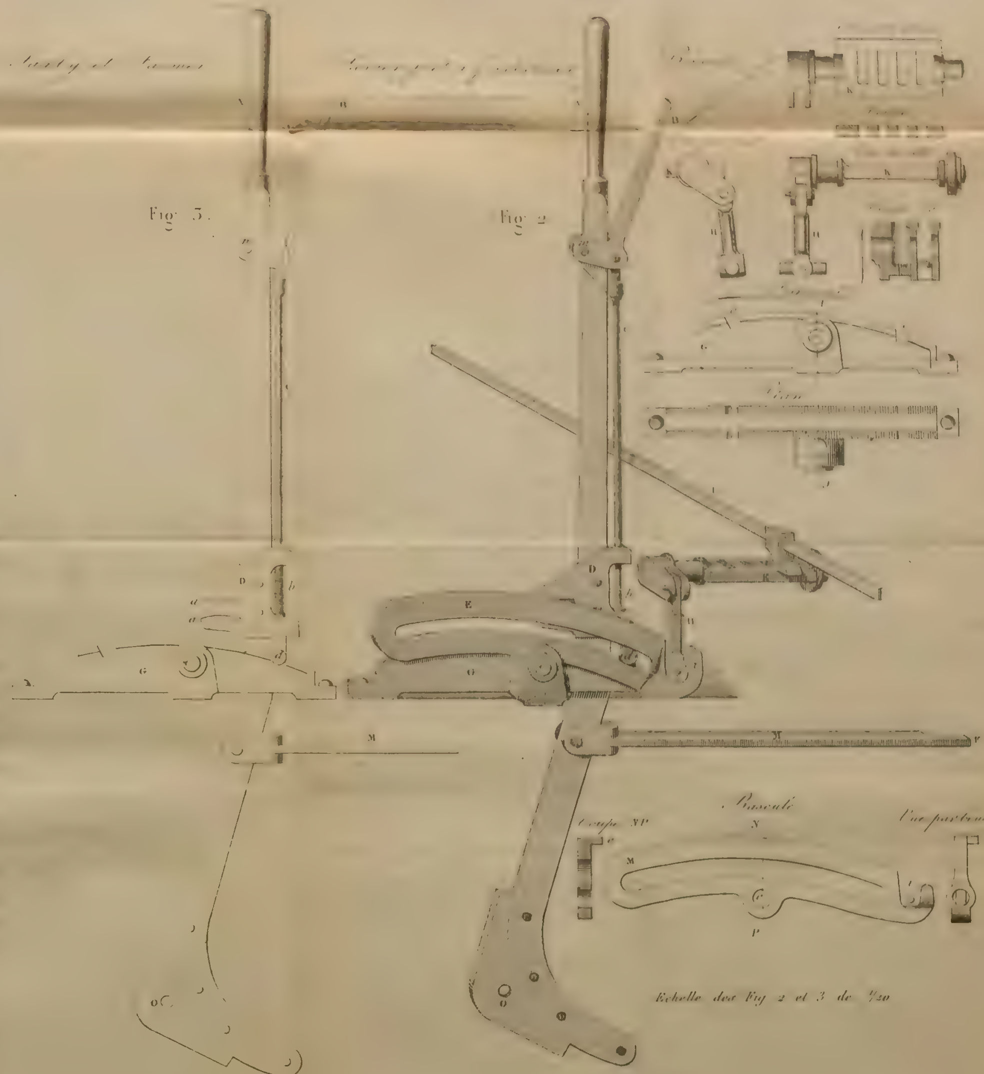
Bifurcation de Viroflay

Macquet del. et sc.



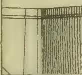
Macquet del et sc.





Macquet del. et sc.

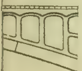
ponts

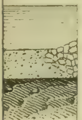




rand

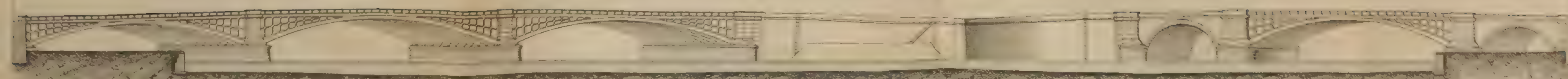
562



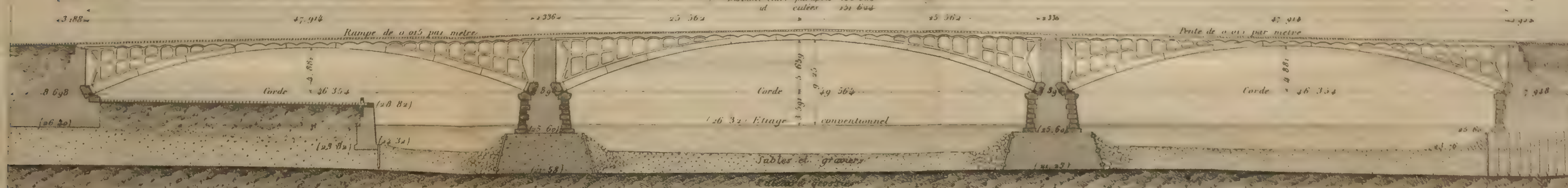


u pet

A Fig. 1. Élévation générale des deux ponts



B Fig. 2. Coupe longitudinale du pont du grand bras



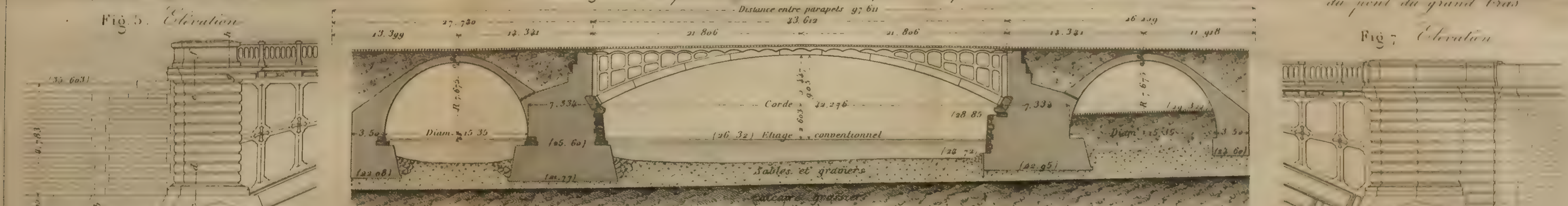
D Détails d'une pile du pont du grand bras

Fig. 5. Élévation

B Fig. 3. Coupe longitudinale du pont du petit bras

D Détails de la culée droite du pont du grand bras

Fig. 7. Élévation

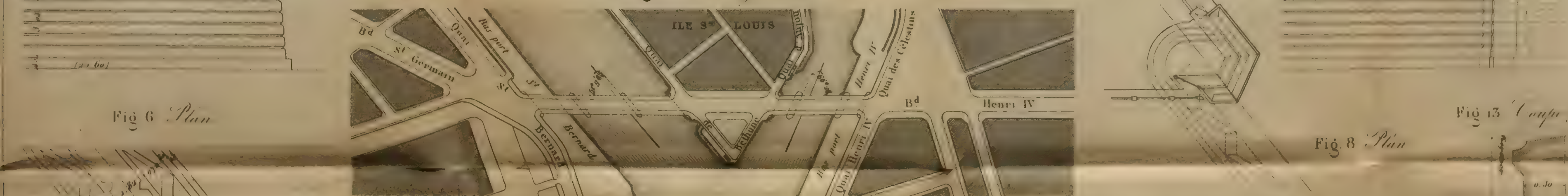


C Fig. 4. Plan général

Fig. 6. Plan

Fig. 8. Plan

Fig. 13. Coupe gh

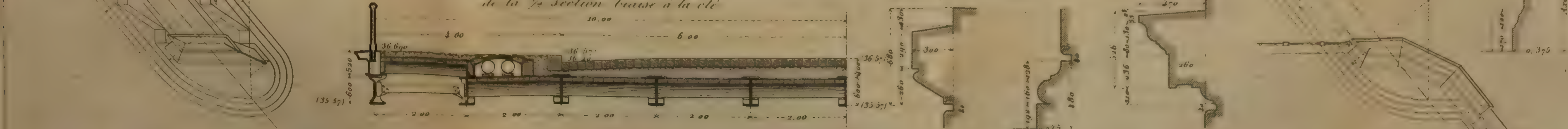


E Fig. 9. Projection normale aux têtes de la ½ section biaise à la clé

F Fig. 10. Coupe ab

Fig. 11. Coupe cd

Fig. 12. Coupe ef



Échelle A de 0m001 pour 1m

Échelle B de 0m002 pour 1m

Échelle C de 0m002 pour 10m

Échelle D de 0m005 pour 1m

Échelle E de 0m01 pour 1m

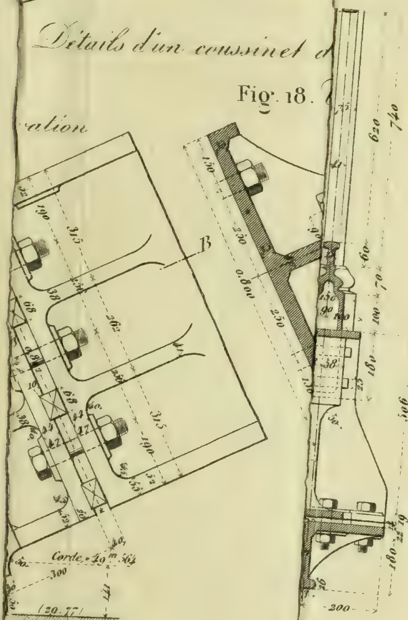
Échelle F de 0m03 pour 1m

Gravé par E. Pérot

Détails d'un coussinet d

Fig. 18.

ation



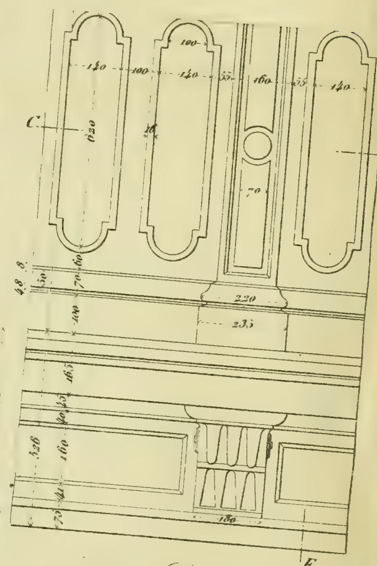
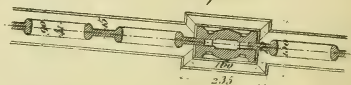


Fig. 14. *Coupe CD*



Gravé par E. Pérot

PONTS SULLY.

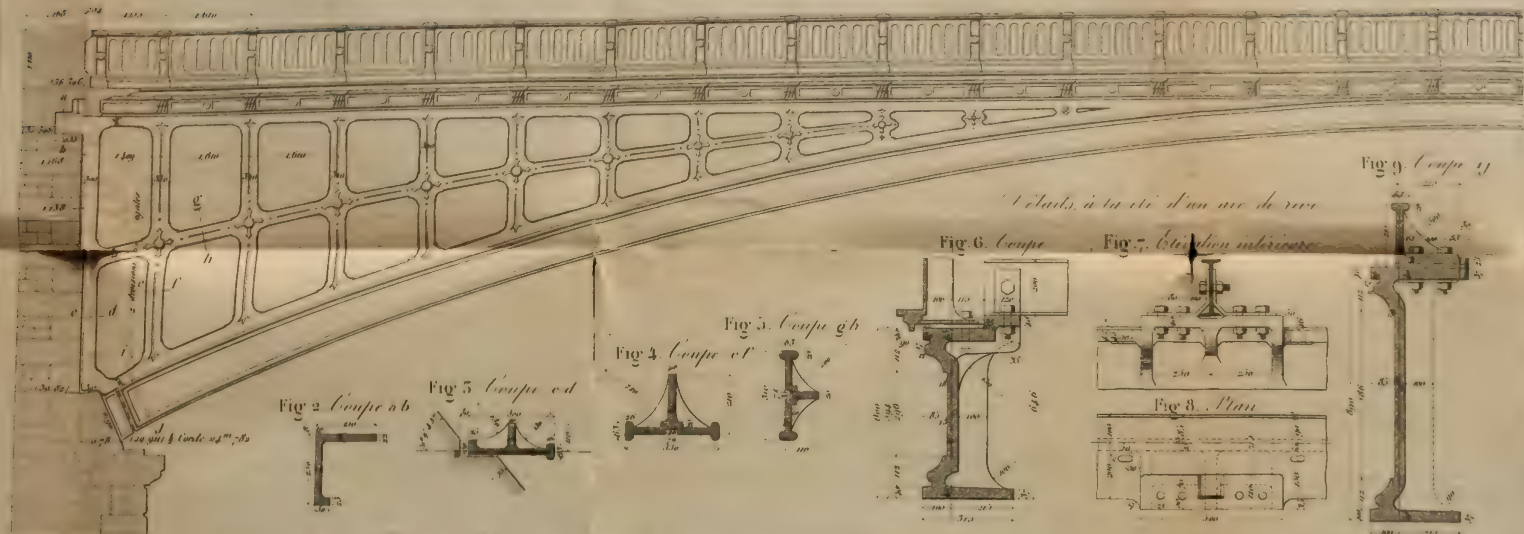


Fig 2. Coupe ab

Fig 3. Coupe cd

Fig 4. Coupe ef

Fig 5. Coupe gh

Fig 8. Plan

Détails d'un coussinet d'arc de rive

Fig 10. Élévation

Fig 11. Coupe AB

Fig 15. Demi-élévation d'une ferme intermédiaire

Ligne tangente au point A de l'arc, en rampe de 0m 015 par mètre

Détails à la clé d'un arc intermédiaire

Fig 19. Coupe

Poutrelle sous trottoir

Poutrelle sous Chaussée

Fig 20. Élévation

Détails de la corniche et du garde-corps

Fig 12. Coupe EF

Fig 13. Élévation

Fig 14. Coupe CD

Détails d'un coussinet d'arc intermédiaire

Fig 16. Coupe ab

Fig 17. Élévation

Fig 18. Coupe AB

Fig 21. Coupe cd

Fig 22. Coupe ef

Fig 23. Coupe gh

Fig 24. Coupe ij

Fig 25. Coupe kl

Echelle des ½ Élévations 0m 01 pour 1 mètre

Echelle des Détails 0m 05 pour 1 mètre

Gravé par E. Pérot

ment des t

. Élévation

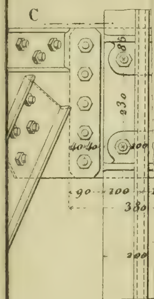
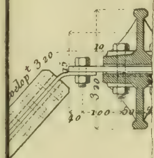


Fig. 10 *Co*



Détails de l'entretoisement des arcs

A Fig. 1. Plan de l'entretoisement des arcs

A Fig. 2. Plan de l'entretoisement des tympans

A Fig. 3. Plan du tablier supérieur

B Fig. 4. Plan

E Fig. 5. Élévation d'un assemblage

Boulon de 25 m/m

Fig. 6. Coupe AB

Détails de l'entretoisement des tympans

B Fig. 7. Plan

Fig. 8. Élévation a b

E Fig. 9. Élévation d'un assemblage

Fig. 10. Coupe CD

Détails des assemblages des poutrelles du tablier

E Fig. 11. Élévation

Fig. 12. Coupe GH

B Fig. 13. Dispositions du tablier près des piles et des culées

D Fig. 14. Plan des tôles bavettes

F Fig. 15. Poutrelles sous chaussée

Poutrelles sous trottoirs

Fig. 16 (about.)

Fig. 17 (normales)

Fers de l'entretoisement

Fig. 18 (arcs et tympans)

Fig. 19 (tympans)

E Fig. 20. Longeron et guide d'un tympan

B Fig. 21. Plan des écoulements d'eau

C Fig. 22. Coupe IJ

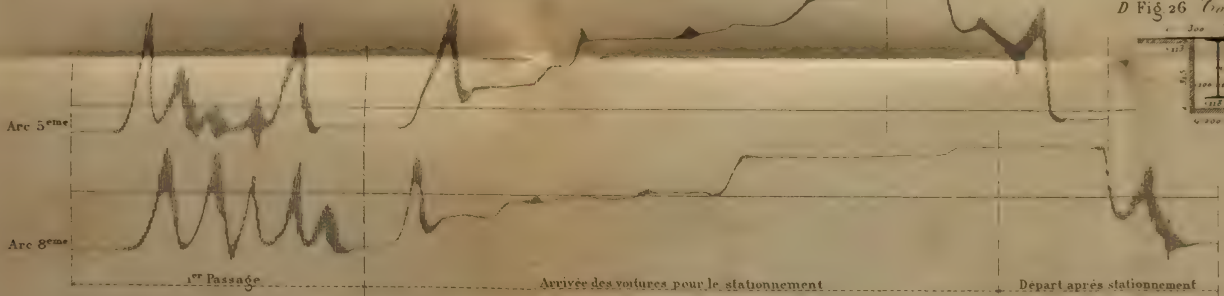
Rampe de 0.025 par m.

Corde 1.894

C Fig. 23. Coupe KL

Rampe de 0.010 par m.

Fig. 24. Fac-simile des courbes de l'épreuve par poids roulant du pont du petit bras



D Fig. 26. Coupe MN

G Fig. 25. Appareil Alonge pour l'essai de la fonte à la flexion

Echelle A de 0m001 pour 1 mètre

Echelle B de 0m010 pour 1m

Echelle C de 0m03 pour 1m

Echelle D de 0m04 pour 1m

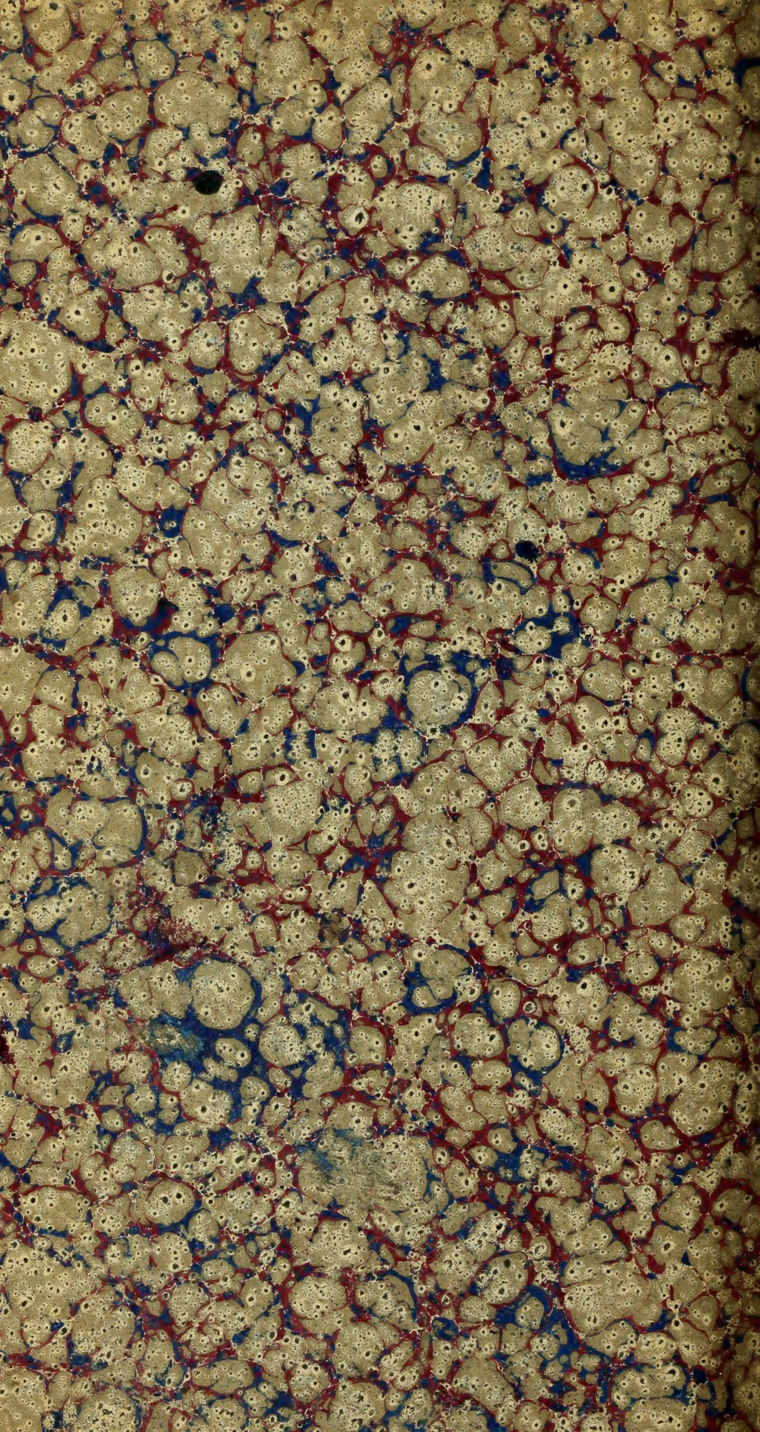
Echelle G de 0m015 pour 1m

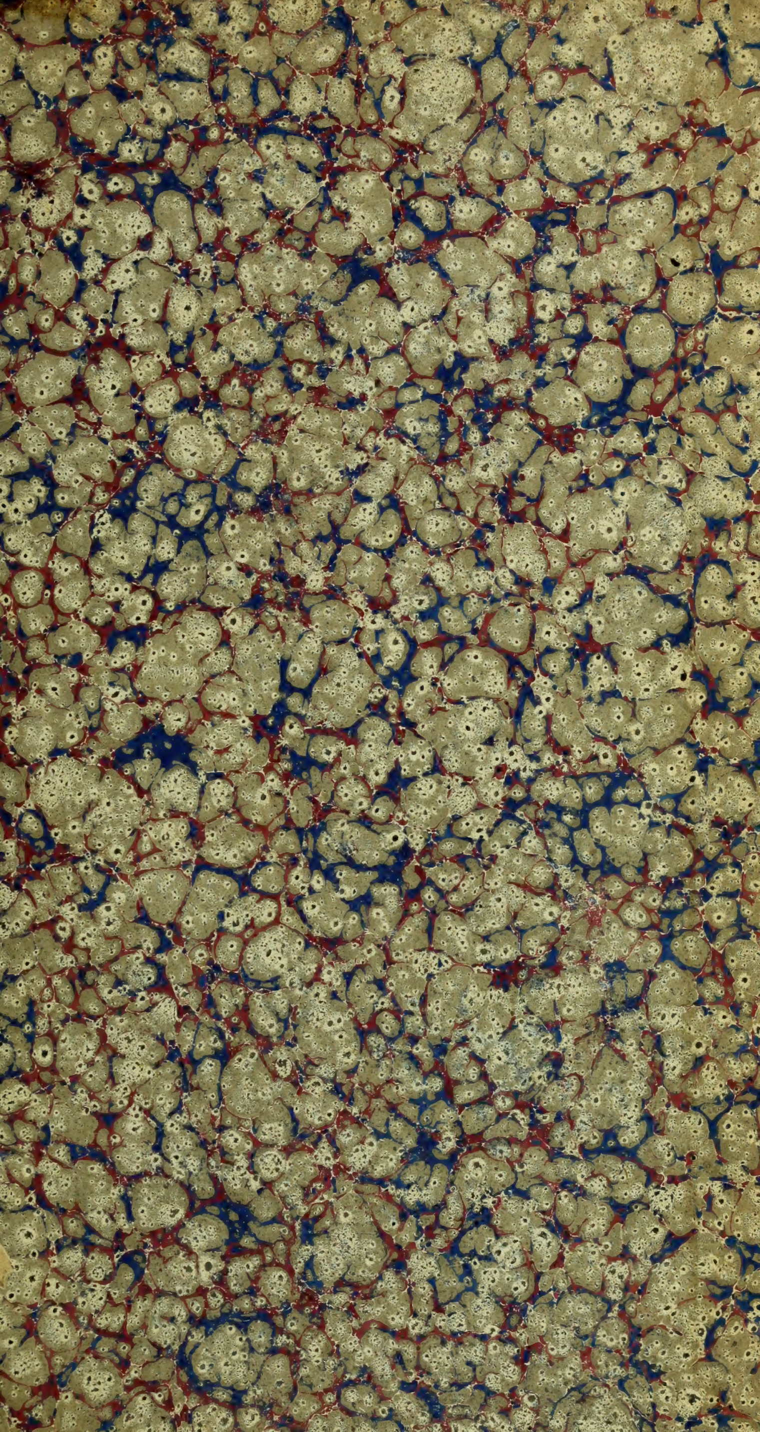
Echelle E de 0m05 pour 1m

Echelle F de 0m100 pour 1m

Gravé par E. Perot








UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 085684956